



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Konsta Honkasalo

OIKOSULKUMOOTTORIN AKTIIVIKOMPONENTTIEN LAADUNVARMISTUS

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Konsta Honkasalo
Opinnäytetyön nimi	Oikosulkumoottorin aktiivikomponenttien laadunvarmistus
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	70 + 4 liitettä
Ohjaaja	Jaakko Rantamäki ja Pekka Ketola

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Vaasassa sijaitsevan ABB Oy Motors & Generators -yksikön oikosulkumoottoreiden aktiivikomponenteille tehtävien vastaanottotarkastusten tarpeellisuutta, tarkastella jo olemassa olevien mittareiden sekä kojeiden riittävyys asianmukaisen tarkastuksen aikaansaamiseksi ja laatia erityyppisille staattoreille tarkoitustaan palvelevat mittauspöytäkirjat.

Aktiivikomponentteihin perehtyminen alkoi tutustumalla alaan liittyvään kirjallisuuteen, sekä käymällä läpi ABB:n käyttämiä menetelmiä aktiivikomponenttien valmistukseen ja laadunvalvontaan. Pääsin myös seuraamaan mittahuoneella roottoreille tehtäviä mekaanisia mittauksia sekä suorittamaan itse staattoreille tehtäviä sähköisiä mittauksia. Arvokasta tietoa kerättiin myös laadunvalvontaa tekeviltä työntekijöiltä sekä toimihenkilöiltä. Laatuviikojen kartoittamiseksi työssä tarkasteltiin aktiivikomponenteista vuosina 2016–2017 tehtyjä notifikaatioita. Kerätty data jaoteltiin ja suodatettiin helposti käsiteltävään muotoon ja niistä tehtiin lukuisia havainnollistavia kuvaajia, jotka auttavat paremmin hahmottamaan nykyistä tilannetta.

Työn tuloksena saatiin laadittua neljä uutta mittauspöytäkirjaa vastaamaan paremmin tämän päivän tarpeita, sekä kerättyä paljon tietoa aktiivikomponenteista ja niiden laatuongelmista. Kerätty tieto poiki myös useita kehitysideoita aktiivikomponenttien laadun varmistamiseksi.

ABSTRACT

Author	Konsta Honkasalo
Title	Quality Assurance of Active Components in the Squirrel Cage Motors
Year	2018
Language	Finnish
Pages	70 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Jaakko Rantamäki and Pekka Ketola

The main aim of this thesis was to consider the necessity of acceptance test for the active components of the squirrel cage motors for ABB Oy Motors & Generators division which is located in Vaasa, observe the sufficiency of already existing meters and instruments for a proper inspection and create a new field log for different kind of stators.

The active components were studied by looking into literature in the field and looking through different kind of methods which ABB uses in manufacturing and quality control of active components. The mechanical measurement of the rotors was also observed and some electrical measurements were performed on the stators. Valuable data was also collected from persons who work with quality issues. To study the quality issues, quality notifications of the active components between 2016 and 2017 were researched. The collected data was divided and filtered in a usable form and there were made many explanatory graphs, which help to conceptualize the current situation.

As a result, four different field logs were drawn up to meet the current needs better and a lot of knowledge was collected on active components and their quality issues. The collected data also produced a lot of development ideas to ensure the quality of active components.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	12
2	ABB – YHTYMÄ	13
3	OIKOSULKUMOOTTORI.....	14
4	RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN MOOTTORIT	15
	4.1 Suojausluokka Ex e.....	17
	4.2 Suojausluokka Ex nA.....	18
	4.3 Suojausluokka Ex d.....	19
5	OIKOSULKUMOOTTORIN AKTIIVIKOMPONENTIT	21
	5.1 Staattori ja roottori	21
	5.1.1 Staattori	21
	5.1.2 Roottori	21
	5.2 Komponenttien välille muodostuvat suureet moottorin käynnistyessä ..	22
	5.3 Moottorin kuormituksessa syntyvät sähköiset ilmiöt	24
6	TUOTTEEN JA PALVELUN LAATU	26
	6.1 Asiakkaan odotukset	26
	6.2 Laadun merkitys yritykselle ja siihen vaikuttavat tekijät	27
	6.3 Toimittaja ja sen toimittamien komponenttien laatu	28
7	VASTAANOTTOTARKASTUS.....	29
	7.1 Staattoreiden vastaanottotarkastus	29
	7.2 Roottoreiden vastaanottotarkastus	30
8	VASTAANOTTOTARKASTUKSEN MITTALAITTEET	31
	8.1 Staattorin mittalaitteet.....	31
	8.1.1 Resistanssimittari, Hioki 3548	31
	8.1.2 Toistoaaltokoestuslaite	33

8.1.3	Vuotovirtamittari.....	34
8.1.4	Eristysvastusmittari, Sefelec	35
8.2	Roottorin mittalaitteet	36
8.2.1	Fisso-keskiöpenkki.....	36
8.2.2	Työntömitta ja kaarimikrometri	37
8.2.3	Johtavuusmittari SIGMATEST 2.069.....	39
9	STAATTOREIDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJAT	41
9.1	Nykyinen mittauspöytäkirja.....	41
9.2	Uudet mittauspöytäkirjat.....	42
10	LOGISTIIKKA.....	45
10.1	Varastointi ja kuljetus	45
10.1.1	Varastointi	45
10.1.2	Kuljetus	46
10.2	Pakkaus	46
10.3	Tarkastuspaikka	48
11	AKTIIVIKOMPONENTTIEN STATISTIIKKA.....	49
11.1	Roottoreiden notifikaatiot	49
11.2	Staattoreiden notifikaatiot.....	53
12	ANALYSOINTI JA KEHITYSIDEAT	61
12.1	Analysointi	61
12.1.1	Roottorit	61
12.1.2	Staattorit	62
12.2	Kehitysideat	63
12.2.1	Roottorit	64
12.2.2	Staattorit	65
13	POHDINTA.....	67
	LÄHTEET.....	69

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Oikosulkumoottorin läpileikkaus ja keskeiset komponentit.....	14
Kuva 2. Räjähdysvaarallisten tilojen moottoreita. /8/	20
Kuva 3. Palvelullisen laadun mittarina toimivat keskeiset tekijät.....	26
Kuva 4. Tuotelaatuun vaikuttavat tekijät.....	27
Kuva 5. Roottorista otettavat mekaaniset mitat.....	30
Kuva 6. Nelijohdin, eli Kelvin-mittaus.	32
Kuva 7. Toistoaaltoimittarista saadut käyrät ja niiden vaihe-erot.	34
Kuva 8. Vuotovirtamittaus.	35
Kuva 9. Eristysvastusmittari.....	36
Kuva 10. Roottorin symmetrisyyden mittaus Fisso-keskiöpenkissä.....	37
Kuva 11. Digitaalisia työntömittoja ABB:n mittahuoneella.	38
Kuva 12. Mekaaninen ja digitaalinen kaarimikrometri.	39
Kuva 13. Sigmatest 2.069 -sähkönjohtavuusmittari.....	40
Kuva 14. ABB:n käyttämä mittauspöytäkirja toimittajilta tulleille staattoreille..	42
Kuva 15. Hartsaamattomille staattoreille luotu uusi mittauspöytäkirja.	43
Kuva 16. Hartsatuille staattoreille luotu uusi mittauspöytäkirja.	43
Kuva 17. Kaksikierroskoneisiin tulevien hartsaamattomien staattoreiden uusi mittauspöytäkirja.....	44
Kuva 18. Kaksikierroskoneiden hartsattujen staattorien uusi mittauspöytäkirja.	44
Kuva 19. Roottorit aseteltuna niille tarkoitettulle lavalle.....	47
Kuva 20. Roottoreiden laatuvirheet vuosina 2016–2017.	50
Kuva 21. Vuosina 2016–2017 kirjatut roottoreiden laatuvirheet suhteutettuna kummankin vuoden yhteenlaskettuun määrään.	51
Kuva 22. Kahden vuoden ajalta roottoreista kirjatut notifikaatiot kuukausittain.	51
Kuva 23. Roottoreiden laatuvikojen havaitsemispaikat 2016–2017.	52
Kuva 24. Roottoreissa havaittujen virheiden jakaantuminen rakennuksittain 2016–2017 suhteutettuna valmistusmääriin.	53
Kuva 25. Staattoreiden laatuvirheet vuosina 2016–2017.....	54
Kuva 26. Vuosina 2016–2017 kirjatut staattoreiden laatuvirheet suhteutettuna kummankin vuoden yhteenlaskettuun määrään.	55

Kuva 27. Toimittajilta saapuneiden staattorien laatuvirhemäärät rinnastettuna vuosien 2016 – 2017 kokonaisvirhemääriin.	56
Kuva 28. Virheellisten staattoreiden jakaantuminen toimittajien kesken.	57
Kuva 29. Toimittajilta tulleiden staattoreiden laatuviikojen kehitysvertailu kahden viime vuoden ajalta virheiden mukaan jaoteltuna.	58
Kuva 30. Staattoreista tehtyjen notifiikaatioiden jakaantuminen kuukausittain. ..	59
Kuva 31. Staattoreiden laatuviikojen toteamispaikat KK- ja MM- rakennuksessa.	60
Kuva 32. Staattoreissa havaittujen laatuvirheiden määrä rakennuksittain vuosina 2016-2017 suhteutettuna valmistusmääriin.	60
Kuva 33. Mittauspöytäkirja hartsatuille staattoreille.	71
Kuva 34. Mittauspöytäkirja hartsatuille kaksikierroskäämityille staattoreille.	71
Kuva 35. Mittauspöytäkirja hartsaamattomille staattoreille.	72
Kuva 36. Mittauspöytäkirja hartsaamattomille kaksikierroskäämityille staattoreille.	72
 Taulukko 1. Maailmanlaajuisen IEC-standardin ja eurooppalaisen EN-standardien pohjalta laadittu luokittelu räjähdysvaarallisten tilojen laitteille. /4/	16
Taulukko 2. ATEX -direktiivin pohjalta moottorinsuojajärjestelmätyypit jaoteltuna laiteryhmiin ja -kategorioiden mukaisesti. /4/	17
Taulukko 3. Hioki 3548 -resistanssimittauksen tarkkuus maksimissaan 5,5V tyhjäkäyntijännitteellä. /13/	32

LIITELUETTELO

LIITE 1. Mittauspöytäkirja hartsatuille staattoreille.

LIITE 2. Mittauspöytäkirja hartsatuille kaksikierroskäämityille staattoreille.

LIITE 3. Mittauspöytäkirja hartsaamattomille staattoreille.

LIITE 4. Mittauspöytäkirja hartsaamattomille kaksikierroskäämityille staattoreille.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ABB	Asea Brown Boveri
ATEX	Atmosphères explosibles, räjähdysvaarallisten tilojen direktiivi
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
EN	Eurooppalainen standardi
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardoimisjärjestö
IECEX	International Electrotechnical Commission Explosive, kansainvälisen sähköalan standardoimisorganisaation kansainvälisesti hyväksytyn menettelyn sertifikaatti
Ex	Räjähdysvaarallisten tilojen moottoriluokitus
EPL	Equipment Protection Level, laitteiston suojausluokitus
Ma/b	Laitteiston suojausluokka kaivosympäristössä
Ga/b/c	Laitteiston suojausluokka kaasua esiintyvässä ympäristössä

$Da/b/c$	Laitteiston suojausluokka pölyä esiintyvässä ympäristössä
D	Halkaisija
E_v	Roottoriin indusoitunut jännite, kun $n=0$
E_{vr}	Roottorin jännite yleisesti
r	Laskennallinen arvo ilmapäliä laskettaessa
mmv	Magnetomotorinen voima
f	Taajuus
f_{kr}	Roottorikäänin käämikerroin
f_r	Roottoritaajuus
M	Kuormitusmomentti
N	Käämin johdinkierrosmäärä
N_r	Roottorin käämin kierrosmäärä
n_s	Synkroninopeus
n	Pyörimisnopeus
Δn	Roottorin ja kentän pyörimisnopeuden erotus
p	Napapariluku
i	Käämiin johdettu virta
\hat{i}	Virran huippuarvo
ω	Kulmataajuus
s	Jättämä

t	Aika
i	Imaginääriyksikkö
π	Pii (3,14)
ϕ^{\wedge}	Vyyhden lävistävän vuon huippuarvo
U	Jännite
I	Virta
$^{\circ}\text{C}$	Celsiusaste
Ω	Ohmi
R_T	Roottori
S_T	Staattori

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Oy, Motor & Generators – yksikölle. Työn tavoitteena on kartoittaa toimittajilta tulleiden staattoreiden ja roottoreiden vastaanottotarkastuksen tarpeellisuutta, laatia tarkastettaville aktiivikomponenteille asianmukaiset mittauspöytäkirjat, sekä kartoittaa jo olemassa olevien mittauslaitteiden ominaisuuksien riittävyys nykyisin suoritettaviin vastaanottotarkastusmittauksiin ja pohtia onko uusien mekaanisten tai sähköisten mittausten suorittamiselle tarvetta.

Komponenttien säännöllisesti suoritettavalla vastaanottotarkastuksella on merkittäviä vaikutuksia niin asiakkaan kuin yhtiönkin etua ajatellen. Asiakas saa laadukkaan tuotteen ja luottamus yhtiötä ja sen tuotteita kohtaan kasvaa, näin asiakas säilyy ja mahdollisesti tilaa tuotteita uudelleen. Yhtiö säästää kustannuksissa, kun viallisista tuotteista reklamoidaan toimittajaa, näin toimittaja pystyy kohentamaan omaa tuotantoprosessiaan, tämän seurauksena yhtiön toimitusvarmuus paranee.

Tämän työn teoriaosassa käsitellään lyhyesti oikosulkumoottorin toimintaperiaate ja sen rakenne, lisäksi käydään läpi muutamien räjähdysvaarallisten tilojen moottoreiden suojausluokat ja aktiivikomponenttien rakenne sekä niiden sähköisiä ominaisuuksia, myös laadun merkitystä käsitellään niin yrityksen kuin asiakkaan näkökulmasta. Varsinaisessa tutkimustyössä perehdytään nykyisten tarkastuksien mittauksiin, mittalaitteisiin ja itse tarkastuksen kulkuun, säännöllisten tarkastusten järjestämisen tueksi analysoidaan vuosien 2016–2017 aikana tehtyjä notifikaatioita. Logistiikan merkitystä käsitellään omana kappaleenaan ja lopuksi käydään läpi mahdolliset kehitysideat sekä yleistä pohdintaa työstä.

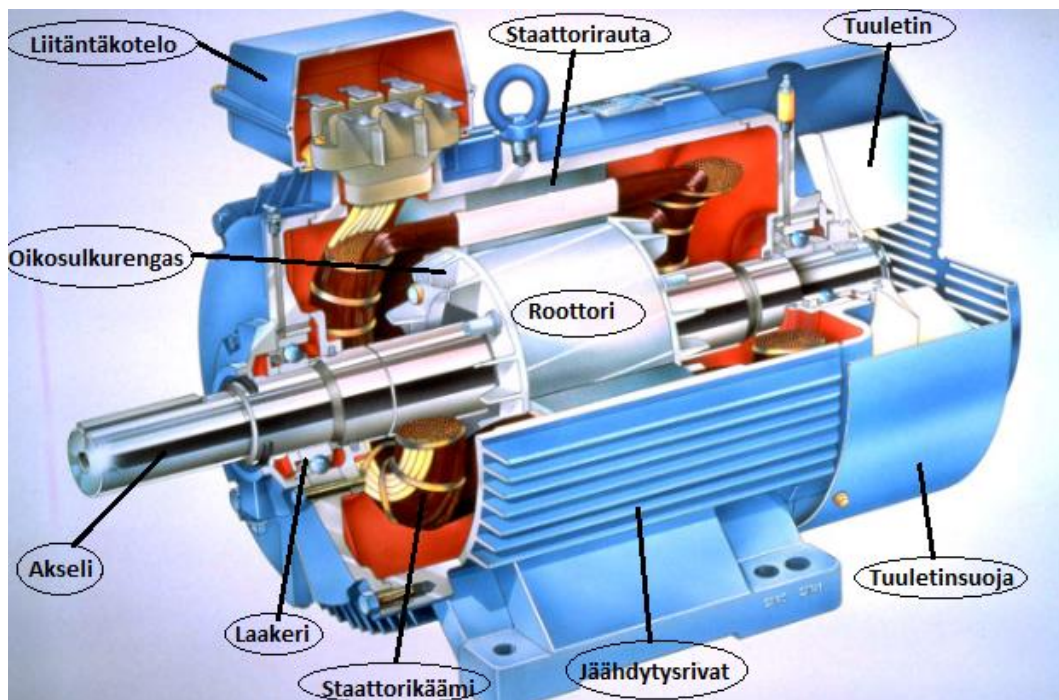
2 ABB – YHTYMÄ

ABB – yhtymän synty juontaa juurensa aina tammikuuhun vuoteen 1988 saakka, kun ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot liitettiin yhteen. ABB:n pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä ja pääjohtajana vuodesta 2013 on toiminut Ulrich Spiesshofer. Nykyään ABB:llä on henkilöstöä noin 136 000 yli 100 maassa ja kaikilla mantereilla. ABB tarjoaa asiakkailleen sähköistystuotteita ja robotteja, sekä liikenneohjaus-, teollisuusautomaatio- ja sähköverkkoratkaisut. /1/

Teollisista työnantajista Suomessa ABB on yksi suurimmista, se työllistää noin 5100 henkilöä ja sillä on toimintaa noin 20 paikkakunnalla. Vuoden 2016 liikevaihto on yli 2,2 miljardia euroa. Tehdaskeskittymät ovat sijoitettuina Vaasaan, Helsinkiin, Haminaan ja Porvooseen. Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla ABB valmistaa muun muassa kesto- ja korkeajännitemoottoreita, sekä dieselgeneraattoreita. Vuosaaren tehtaalla taas toimii Marine ja Ports – divisioona, sen menestyksekkäänä tuotteena mainittakoon Azipod®-propulsiojärjestelmä, jonka etuina ovat energiatehokkuus, parempi ajettavuus ja polttoainetaloudellisuus. Vaasan tehtaiden kenties merkittävimmät tuotteet ovat pienjännitemoottorit ja erikoismuuntajat, mutta Strömberg Parkissa valmistetaan myös lukuisia muita tuotteita aina releistä tehdastietojärjestelmiin. /2/

3 OIKOSULKUMOOTTORI

Oikosulkumoottori on epätahtikone, se tarkoittaa, että moottorissa oleva roottori ei pyöri yhtä suurella nopeudella kuin moottorin sisälle muodostunut magneettikenttä. Moottori muuttaa siihen suunnatun sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. Sen toiminta perustuu sähkövirran aiheuttamaan magneettikenttään. Kolmivaiheinen jännite kytketään staattoriin, joka muodostaa koneen sisälle pyörivän kiertokentän kolmen vaiheen aiheuttaman magnetomotorisen voiman seurauksena. Magneettivuo leikkaa roottorin sauvoja ja aiheuttaa roottorin pyörimisliikkeen vääntömomentin ollessa suurempi kuin liikettä vastustava vastamomentti. Kuvassa 1 on esitetty oikosulkumoottorin rakenne ja sen osat. /3/



Kuva 1. Oikosulkumoottorin läpileikkaus ja keskeiset komponentit.

4 RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN MOOTTORIT

ABB valmistaa moottoreita myös vaativiin olosuhteisiin. Tässä luvussa käydään läpi Ex-tiloihin sopivia moottoreita ja kolme räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen moottoreiden suojaustason merkintätapoja, jotka ovat Ex e, Ex nA ja Ex d. Kaikki ABB:n pienjännitemoottorit täyttävät ATEXin edellyttämän 94/9/EY-laitedirektiivin ja suurin osa myös kansainväliset IECEx-standardit. Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet on jaoteltu omiin laiteluokkiin ja ryhmiinsä, nämä ovat määriteltyinä standardeissa IEC 60079-0, EN 60079-0, IEC 60079-10-X ja EN 60079-10-X. ATEX-direktiivin osa 94/9/EY määrittelee laitteen käyttöolosuhteet ja käyttöolosuhteiden vaatimat suojaustyypit Euroopassa valmistetuissa laitteissa, nämä ovat nähtävillä taulukoissa 1 ja 2. /4,5/

Taulukko 1. Maailmanlaajuisen IEC-standardin ja eurooppalaisen EN-standardien pohjalta laadittu luokittelu räjähdysvaarallisten tilojen laitteille. /4/

Ryhmät ja EPL:n mukaiset suojaustasot määritelty alla olevien standardien mukaan IEC 60079-0 EN 60079-0			Tilaluokat määritelty alla olevien standardien mukaan IEC 60079-10-X EN 60079-10-X
Ryhmä	EPL	Suojaustaso	Tilaluokka
1 (Kaivokset)	Ma	erittäin korkea	-
	Mb	korkea	
2 (Kaasu)	Ga	erittäin korkea	0, ”Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.” /5/
	Gb	korkea	1, ”Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.” /5/
	Gc	tehostettu	2, ”Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.” /5/
3 (Pöly)	Da	erittäin korkea	20, ”Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.” /5/
	Db	korkea	21, ”Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.” /5/
	Dc	tehostettu	22, ”Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.” /5/

Taulukko 2. ATEX -direktiivin pohjalta moottorinsuojajärjestelmätyypit jaoteltuna laiteryhmiä ja –kategorioiden mukaisesti. /4/

ATEX direktiivi 94/9/EY		
Laiteryhmä	Laitekategoria	Keskeiset moottorinsuojajärjestelmätyypit
1 (Kaivosolosuhteet)	M1	-
	M2	
2 (Teollisuusolosuhteet)	1G	-
	2G	Ex d/Ex de Ex p, Ex e
	3G	Ex nA
	1D	-
	2D	Ex tb IP65
	3D	Ex tc IP65/IP55

4.1 Suojausluokka Ex e

Suojausluokan Ex e -moottorit ovat korotetun suojausluokan moottoreita, niiden käyttökohteita ovat ympäristöt, joissa esiintyy räjähdysvaarallista kaasua tai ympäristöt, joissa räjähdysten mahdollisuus on olemassa. Koska moottorit sijoitetaan vaativiin kohteisiin, joissa virheellisesti toimiva tuote voi aiheuttaa vakavia henkilö- tai omaisuusvahinkoja, tulee myös niiden aktiivikomponenttien laadun olla parasta mahdollista turvallisen työympäristön takaamiseksi.

Suojaustyyppi e tarkoittaa, että laitteessa on varmennettu rakenne ja siinä käytettyjen materiaalien ansiosta kipinöintiä, valokaaria tai liian korkeaa räjähdysriskin mahdollistavaa sisäistä tai ulkoista lämpötilaa ei synny. Poikkeavan lämpötilannousun seurauksena moottori sammuu, kun sisälämpötila saavuttaa moottorin lämpöluokan. Ex e -moottoreiden laitesuojaustaso on Gb, tilaluokat ovat 1 ja 2.

Mekaanisten rakenteiden osalta e -suojaluokan moottori edellyttää siihen käytettäviltä osilta ja lisälaitteilta samoja vaatimuksia kuin suojaluokan nA -moottori, myös staattorin ja roottorin ilmavälin laskentaan käytetään kaavaa 1. Taajuusmuuttajakäyttöisiä Ex e -moottoreita ei tehdä, vaan näiden tilalla käytetään Exd(e)-moottoreita, joissa staattorinrunko on räjähdysuojattu ja liitinsuojuksen rakenne on turvallisempi. /6,7/

4.2 Suojaluokka Ex nA

Suojaustapa Ex nA tarkoittaa, että normaaliolosuhteissa kipinöintiä tai kuumia pintoja ei pääse syntymään moottorin rakenteisiin. Myöskään erikoistilanteissa, kuten moottorin käynnistyessä tai jumitilassa, ei saa esiintyä kipinöintiä.

Mekaaninen rakenne eroaa standardimoottoreiden osalta lukuisilla tavoilla: Standardi määrittelee sen etäisyydet ja ryömintävälit, sekä roottorin ja staattorin välissä olevan tunnustettavan ilmavälin, joka saadaan IEC/EN60079-15 kaavasta 1.

$$\left(0,15 + \frac{D-50}{780} \left[0,25 + \frac{0,75 \cdot n}{1000}\right]\right) * r \quad (1)$$

Jossa:

- D on roottorin halkaisija millimetreinä ja sen ilmavälin säde on määritelty pienimmillään 75 millimetriseksi ja suurimmalla arvolla 750 millimetriseksi.
- n kuvaa suurinta kierrosnopeutta, sen yksikkönä käytetään kierrosta minuutissa (r/min), minimiarvoksi on määritetty 1000.
- r on laskennallinen arvo, joka saadaan kaavasta 2 ja sen minimi pituus on määritelty 1,0 millimetriin.

$$r = \frac{\text{moottorin keskiön pituus}}{1,75 \cdot D} \quad (2)$$

Ilmaväli on myös mahdollista määritellä kokonaistoleranssilaskelmalla. Moottoriin asennettavien lisälaitteiden, kuten antureiden ja lämpötilakytkimien, tulee olla Ex-hyväksyttyjä, lukuun ottamatta käämeihin asennettavia termistoreja, jotka saavat olla sertifioimatonta mallia, kunhan niiden koko on maksimissaan 5 millimetriä. Tuulettimen kehänopeuden ylittäessä 50 m/s, on sen materiaalin oltava metallia tai antistaattinen, myös asennustavalla V1 asennettu hattu tai muoviset aurinkosuojat voivat olla maalattuja johtavalla materiaalilla tai valmistettu antistaattisesta materiaalista. Antistaattisten muovimateriaalien tai pinnoitteiden uupuessa voidaan käyttää varoitustarraa. Kaikkien tiivisteiden tulee olla hyväksyttyjä sekä koestettuja. /7/

4.3 Suojausluokka Ex d

Tämän suojausluokan moottorin staattorinrunko ja liitinsuojus on suunniteltu räjähdyskestoiseksi. Kestävän runkorakenteensa ansiosta moottori kestää sisäisen räjähdysvaaran vaurioitumatta, se ei myöskään päästä kipinöitä tai kuumia kaasuja ulos, joten kotelon sisään voidaan sijoittaa räjähdysvaarattomaan tilaan tarkoitettuja kipinöiviä kojeita ja laitteita. Jotta räjähdys ei pääse leviämään kotelon ulkopuolelle, siihen on mitoitettu saumat, jotka estävät räjähdyspaineen purkautumisen. Käyttöolosuhteista riippumatta, sen pinnalle ei muodostu kuumia pintoja, tämän mahdollistavat liekkiopinnot, joiden tarkoituksena on laskeutuvan kaasun lämpötilan laskeminen tiettyyn arvoon ja liekkien sammuttaminen. Toimivan liekipinnan edellytyksenä on, että pinta on naarmuton ja se on vapaa ruosteesta sekä liasta.

Jotta suojausluokan edellyttämät vaatimukset täyttyvät, pitää sen rungon ja liitännän suunnittelussa huomioida lukuisia eri tekijöitä, nämä ovat kuitenkin riippuvaisia moottorin kokoluokasta, tyypistä ja asennusasennosta. Näin tarkkaa kuvausta ei kuitenkaan ole tarpeellista tehdä, joten todetaan vain kaikille yhteiset edellytykset, jotka ovat: Runkorakenteen kestävyys vaaditussa paineessa, Exd-

tilojen läpimenevien reikien nollatoleranssi, asianmukaiset välit liikkuvien ja paikallaan pysyvien osien välillä D/100millimetri – sääntöä noudattaen, sekä Exd-hyväksytty jarru, takometri ja erillistuuletin. Tiivisteet, muovinen aurinkosuoja, V1-hattu ja tuuletin noudattavat samaa käytäntöä mikä on mainittu suojausluokassa Ex nA. Varoitustarran käyttö on myös tämän suojausluokan kohdalla mahdollista. Kuvassa 2 voimme nähdä Ex-luokiteltujen moottoreiden kuvia. /7/



Kuva 2. Räjähdysvaarallisten tilojen moottoreita. /8/

5 OIKOSULKUMOOTTORIN AKTIIVIKOMPONENTIT

5.1 Staattori ja roottori

5.1.1 Staattori

Staattorin runko koostuu peräkkäin ladotuista sähköteräslevyistä, levyrakenne vähentää vaihtovirran aiheuttamia pyörrevirtahäviöitä, levyjen paksuus on yleensä 0,5 millimetriä. Staattorilevyistä muodostetun valmiin paketin uriin käämitään kuparilangasta tehdyt vyyhdet, jonka jokaisella johtimella on johdineristys. Vyyhdet ja rautasydän on eristetty toisistaan sulkuliuskalla tai urakiilalla, jotka asetetaan ura-aukkoon. Urakiilat ja sulkuliuskat toimivat myös johtimien tukena ja estävät niiden purkautumisen. Johtimista muodostuvat vyyhdet sidotaan tiiviiksi nipuiksi sidontanauhalla, sidonta tekee käämistä yhtenäisen ja se kestää paremmin tärinää moottoria kuormitettaessa. Lopuksi staattori hartsataan, hartsi antaa käämeille mekaanista tukea, mutta sen pääasiallinen tehtävä on muodostaa käämeille sähköinen eristys yhdessä muiden eristeiden kanssa.

Staattorin sähköisiä ominaisuuksia voidaan muokata muuttamalla, esimerkiksi niiden sähkölevyjen muotoa tai niiden pinta-alaa tai lisäämällä niihin seosaineita. Oikosulkumoottoreissa käytettävien dynamolevyjen yleisin seosaine on pii, joka pienentää raudan johtavuutta ja lisää levyn ominaisvastusta aiheuttaen hystereesisilmukan kaventumisen. Oikosulkumoottoreissa ja muissa pyörivissä koneissa käytettävistä dynamolevyistä piin pitoisuus on yleensä alle prosentin, sillä se heikentää raudan mekaanista kestävyyttä. /7,9-10/

5.1.2 Roottori

Roottori on sähkömoottorin pyörivä osa, staattorin tavoin myös sen runko koostuu peräkkäin ladotuista rautalevyistä ja kumpaankin pätyyn on kiinnitetty päätälevy. Tyypillisesti roottorin uriin on painevalettu käämityksenä toimivat alumiinisauvat ja paketin kummallekin puolelle on juotettu oikosulkurengas, joka nimensä mukaisesti oikosulkee johteet. Rungon sisälle lasketaan akseli, kun roottoripaketti

on lämmitetty uunissa 250–300°C lämpötilaan. Paketin jäähtyessä ja akselin lämmitessä, niiden välinen välys kiristyy kantavaksi liitokseksi. Roottoripaketin ulkohalkaisija sorvataan ilmoitettuun mittaan. Tarvittaessa roottoria voidaan myös tasapainottaa erilaisin menetelmin, epätasapainossa oleva roottori aiheuttaa moottorin tärinää.

Myös roottorin ominaisuuksia voidaan muokata levyjen paksuutta tai muotoa vaihtamalla, seosaineella, sekä sauvojen lukumäärää tai muotoa muuttamalla. Oikeilla materiaalivalinnoilla ja rakenteellisella suunnittelulla voidaan minimoida häviöitä. /7, 9-10/

5.2 Komponenttien välille muodostuvat suureet moottorin käynnistyessä

Kytettäessä staattoriin kolmivaiheinen jännite, staattorikäämiin syntyy induktiivinen virta, joka on riippuvainen kääntäen staattorin kierrosmäärästä, magneettiipiirin pituudesta ja etenkin ilmavälin pituudesta. Sen käämitys synnyttää pyörivän magneettivuon, jonka päävuo kiertää staattori- ja roottorikäämin. Magnetointi tapahtuu näiden välissä olevan ilmavälin kautta ja kaavan 3 mukaisella nopeudella, magnetomotorinen voima synnyttää pyörivän magneettivuon.

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (3)$$

Jossa:

- n_s on synkroninopeus.
- f on taajuus.
- p on napapariluku.

Vuo jakaantuu tasaisesti staattorin ja roottorin väliseen ilmaväliin, se muodostaa suurimman osan vuolla olevasta magneettivastuksesta. Vaiheiden aiheuttaman mmv:n yleinen kaava on esillä kaavassa 4.

$$mmv = N * i \quad (4)$$

Jossa:

- mmv on magnetomotorinen voima.
- N on käämin johdinkierrosmäärä.
- i on käämiin johdettu virta.

Koska vaiheet U, V ja W ovat kukin 120° toisiinsa nähden, on otettava huomioon niiden omiin suuntiinsa aiheuttamat magnetomotoriset voimat (mmv). Eulerin yhtälöä hyväksikäyttäen, virrat saadaan kaavan 5 mukaiseen muotoon.

$$\begin{aligned} i_u &= \frac{\hat{i}}{2} (e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}) \\ i_v &= \frac{\hat{i}}{2} \left(e^{i(\omega t - \frac{2\pi}{3})} + e^{-i(\omega t - \frac{2\pi}{3})} \right) \\ i_w &= \frac{\hat{i}}{2} \left(e^{i(\omega t + \frac{2\pi}{3})} + e^{-i(\omega t + \frac{2\pi}{3})} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Jossa:

- ω on kulmataajuus.
- t on aika.
- \hat{i} on virran huippuarvo.

Lisäksi on oletettu, että vaiheen U virran nollakulma on nolla ajanhetkellä t=0. Käämin johdinkierrosmäärässä ei ole huomioitavia muuttujia, joten kunkin käämin mmv saadaan kertomalla virran yhtälö kierrosmäärällä N. Magnetomotorinen voima saadaan yksinkertaisesti laskemalla käämien mmv -vektorit yhteen kaavan 5 mukaisesti.

$$\sum \overline{mmv} = \bar{f}_u + \bar{f}_v + \bar{f}_w \quad (6)$$

Pyörivä magneettivuo aiheuttaa roottoriin indusoituvan jännitteen E_v :n, joka muodostuu kaavassa 7 esitettävistä suureista. Kaavassa 7 roottorin pyörimisnopeus $n=0$.

$$Ev = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f k_r * f * N_2 * \hat{\phi} \quad (7)$$

Jossa:

- f_{kr} on roottorin käämikerroin.
- f taajuus.
- N_2 roottorin kierrosmäärä.
- $\hat{\phi}$ vyyhden lävistävän vuon huippuarvo.

Oikosulkurenkkaan aiheuttama oikosulku roottorisauvojen välillä synnyttää roottorikäämiin virran, joka puolestaan synnyttää pyörivän magneettikentän ja roottorisauvaan syntyneen virran ansiosta voiman F ja momentin. Kun momentti ylittää kuorman momentin, moottori alkaa pyörimään. /9/

5.3 Moottorin kuormituksessa syntyvät sähköiset ilmiöt

Ennen kuormitusta moottori pyörii lähes samalla nopeudella magneettikentän kanssa, eli pyörimisnopeus n on miltei identtinen synkroninopeuden n_s kanssa. Tuulettimen ja laakerien momentin ylittämiseen syntyy vain hieman roottorivirtaa ja -jännitettä sekä jättämää.

Jättämä ja nopeus ovat riippuvaisia kuormitusmomentista, sen kasvaessa myös roottoritaajuus kasvaa. Nopeuteen kuormitusmomentin kasvu vaikuttaa negatiivisesti, eli momentin kasvaessa nopeus pienenee. Kaavassa 8 on roottoritaajuuteen vaikuttavat tekijät.

$$f_r = s * f \quad (8)$$

Jossa:

- f_r on roottoritaajuus
- s on jättämä
- f on taajuus

Tämä johtaa roottorin yleisen jännitteen E_{vr} :n kasvamiseen, joka on riippuvainen kaavassa 9 olevista tekijöistä.

$$E_{vr} = \frac{\Delta n}{n_s} E_v \quad (9)$$

Kaavassa 9 uutena muuttujana on kentän ja roottorin pyörimisnopeuden eroa kuvaava Δn . Koska Δn on yhtä kuin jättämän ja synkroninopeuden tulo, voidaan lauseketta yksinkertaistaa kirjoittamalla se kaavassa 10 olevaan muotoon.

$$E_{vr} = s * E_v \quad (10)$$

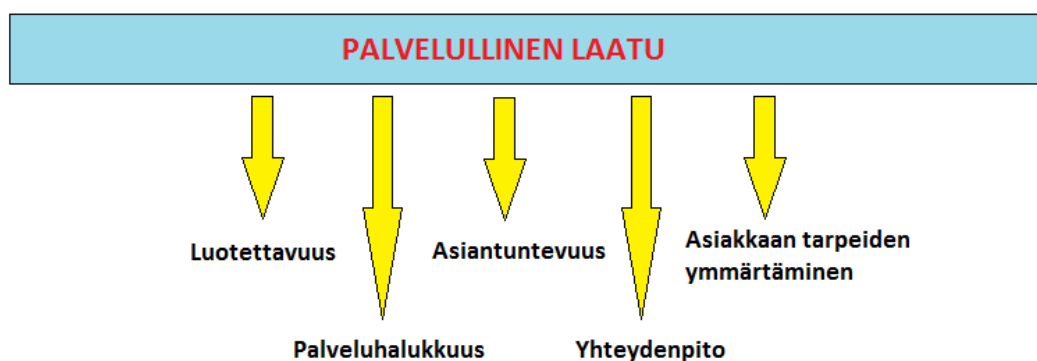
Jännitteen kasvu aiheuttaa myös roottorivirran kasvamisen, sillä se on myös riippuvainen jättämästä. Tämä aiheuttaa myös momentin kasvamisen, kunnes se saavuttaa tasapainotilan. Tasapainotila saavutetaan kun moottorin momentti on yhtä suuri kuin kuorman momentti. /9/

6 TUOTTEEN JA PALVELUN LAATU

Tässä luvussa käsitellään tuotteen ja palvelun laatua. Tuotteen laadulla tarkoitetaan, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset koko oletetun käyttöikänsä ajan. Asiakas mittaa yrityksen ja sen toiminnan laatua jo ennen varsinaista ostopäätöstä, esimerkiksi yrityksen nettisivuja tarkastellessaan, jolloin korostuu niiden selkeys ja informatiivisuus. Loppukäyttäjän lisäksi laatuvaatimuksia asettavat viranomaiset, tuotteita välittävät yritykset sekä erilaiset muut tahot. Tässä luvussa käsitellään asiakkaan odottaman laadun vaatimusten täyttämistä ja laadun merkitystä yrityksen näkökulmasta.

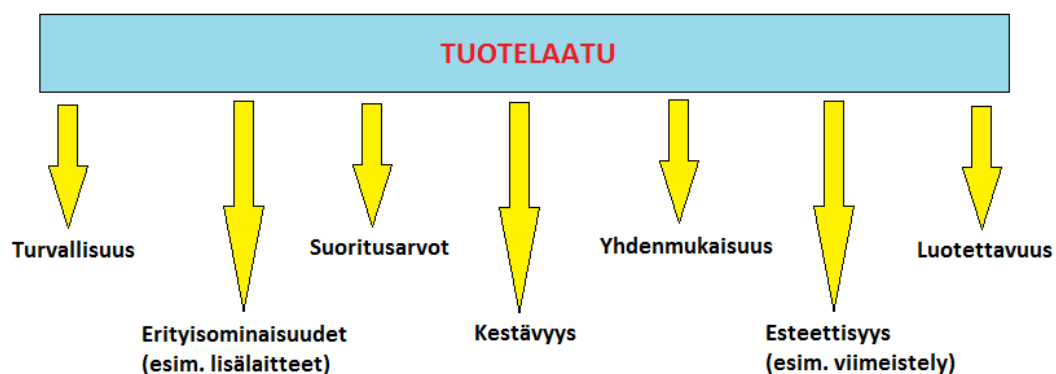
6.1 Asiakkaan odotukset

Nykyajan valveutunut asiakas on vaativa ja hänellä on selkeät ennakko-odotukset niin yrityksen palvelun kuin tuotteenkin laadun suhteen. Näihin ennakko-odotuksiin vaikuttavat yrityksen itsestään luoma imago, mahdolliset aiemmat kokemukset sekä asiakkaan omat tarpeet. Asiakkaan tarpeiden täyttymiseksi asiakaskokemus edellyttää yrityksen suunnalta esimerkillistä palvelullisen laadun toteuttamista, näiden keskeisimmät osatekijät voidaan määritellä kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3. Palvelullisen laadun mittarina toimivat keskeiset tekijät.

Toinen puoli kokonaisvaltaisesta laatukokemuksesta muodostuu tuotelaadun, eli teknisen laadun perusteella. Tämän mittarina toimii itse tuote, jonka tulee täyttää sille asetetut vaatimukset tai mahdollisesti jopa ylittää ne. Tuotelaatu voidaan jakaa osatekijöihin kuvan 4 mukaisesti.



Kuva 4. Tuotelaatuun vaikuttavat tekijät.

Kun palvelullinen laatu ja tuotelaatu ovat korkealla tasolla, se täyttää asiakkaan tarpeet. On kuitenkin huomioitava, että asiakassuhde jatkuu myös tuotteen toimittamisen jälkeen. Tuotteen mahdolliset valmistuksesta tai kuljetuksenaikaisesta väärästä käsittelystä johtuneet viat saattaa ilmetä vasta tuotetta käytettäessä. Myös tällöin tavarantoimittaneen yrityksen tulee toimia nopeasti ja johdonmukaisesti tilanteen korjaamiseksi, jotta asiakassuhteesta saadaan pysyvä ja molempia osapuolia hyödyttävä. /11,12/

6.2 Laadun merkitys yritykselle ja siihen vaikuttavat tekijät

Yritykselle laadulla on valtava taloudellinen merkitys, huonolaatuiset tuotteet tahraavat yrityksen mainetta ja aiheuttavat mittavia kustannuksia, esimerkiksi asiakkaalle tehtävien hyvitysten ja korjauskulujen muodossa. Onnistunutta laatupolitiikkaa tekevä yritys parantaa imagoaan ja kilpailukykyään, mikä lisää yhtiön vakavaraisuutta ja mahdollisuutta investoida varoja tutkimukseen ja tuotekehitykseen.

Toiminnan laatu on yksi tärkeimmistä kehittämisen kohteista. Käsitteenä se tarkoittaa huomion kohdistamista tuotteiden laadun aikaansaamaan taloudellisuuteen ja virheettömyyteen. Sillä voidaan myös tarkoittaa tarkastelun laajentamista koskemaan kaikkea yrityksessä tapahtuvaa toimintaa. Toiminnallisten virheiden aiheuttamat valvonta- ja paikkaustyöt voivat viedä yrityksen henkilöstön työajasta useita kymmeniä prosentteja, lisäksi ne aiheuttavat usein haittaa asiakassuhteille ja saattavat heikentää merkittävästi vallitsevaa

työilmapiiriä. Useimmat tuotteiden laatuvirheet johtuvat yksinomaan jostakin toiminnan laatuvirheestä. Toiminnan laatua voidaan kuitenkin kehittää kouluttamalla henkilöstöä säännöllisesti ja reagoimalla systemaattisesti ilmaantuneisiin virheisiin. /11/

6.3 Toimittaja ja sen toimittamien komponenttien laatu

Materiaalintoimittajien toimittamilla komponenteilla ja materiaaleilla on suuri merkitys onnistuneen lopputuotteen kannalta. On tärkeää, että koko materiaaliketju on hallittavissa aina tuotteen valmistamisesta sen asianmukaiseen pakkaamiseen ja kuljettamiseen. Toimittajilta tulleiden tuotteiden laatupoikkeamia voidaan etsiä niiden saapuessa vastaanottotarkastuksilla, materiaalivirran ollessa suuri, järkevin tapa on suorittaa laadunvalvontaa pistokokeilla. Havaituista poikkeamista tulee raportoida selkeästi ja viipymättä toimittajalle, jotta virheiden synty voidaan todeta ja kohdistaa siihen vaadittavat korjaustoimenpiteet. Lisäksi tulee varmistaa, että tavarantoimittajalla on viimeisimmät tiedot tilaajan edellyttämistä laatuperiaatteista.

Toimittajan valinnalle on yleensä muutamia keskeisiä seikkoja, joita tulee ottaa huomioon. Näitä ovat muun muassa tuotteiden hinta, toimitusaikavarmuus ja tekninen laatu. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi valintaperusteina voidaan käyttää lukuisia muitakin seikkoja, jotka riippuvat hankintakohdetta etsivän yrityksen omista intresseistä. Asiansa osaavan toimittajan valinnalla varmistetaan lopputuotteen olevan laadukas ja pitkällä aikavälillä se parantaa asiakkaiden tyytyväisyyttä sekä toiminnan kannattavuutta. /11/

7 VASTAANOTTOTARKASTUS

Tässä luvussa käsitellään aktiivikomponenteille tehtäviä vastaanottotarkastuksia. Vastaanottotarkastuksia suoritetaan, jotta voidaan varmistua tuotteen laadukkuudesta ja estää virheellisten tuotteiden eteneminen asiakkaalle tai seuraavaan työvaiheeseen. Tarkastusten antamalla tiedolla tavarantoimittajia voidaan reklamoida tai suorittaa omassa valmistuksessa tapahtuviin virheisiin kohdistuvat korjaustoimenpiteet. Tässä luvussa käsitellään ABB:n toimittajilta tulleiden ja omavalmisteisten staattoreiden sekä roottoreiden vastaanottotarkastusten etenemistä.

7.1 Staattoreiden vastaanottotarkastus

Toimittajilta tulleille staattoreille ei ole säännöllisiä vastaanottotarkastuksia, vaan niitä tehdään erittäin harvoin. Tyypillinen tarkastus hartsaamattomalle staattoripaketille etenee seuraavan kaavan mukaisesti:

1. Staattorit nostetaan nostimella tarkastusta varten sopivalle pöydälle, jossa pyörivät rullat mahdollistavat sujuvan silmämääräisen tarkastuksen.
2. Mittauspöytäkirjaan merkitään mitattavien komponenttien tunnistetiedot, kuten tilausnumero tai jokin vastaava, millä pystytään jälkikäteen tunnistamaan mille komponenteille tarkastus on tehty.
3. Resistanssimittaukset vaiheiden väliltä, myös termistorin toimivuus tarkastetaan. Vaiheiden välisiä mittauksia verrataan mahdollisesti toimittajilta tulleisiin arvoihin. Resistanssimittauksilla voidaan todeta kääminnän kunnon olevan hyvällä tasolla.
4. Toistoaaltomittaus, suoritetaan kytkemällä mittalaite esimerkiksi vaiheisiin U1,V1 ja W1, loput vaiheet kytketään keskenään tähteen ja erotetaan maasta. Tällä mittauksella voidaan paikallistaa johdinkierrosten välinen kierrosoikosulku. Onnistuneessa mittauksessa mittarin näytölle ilmestyneiden käyrien välissä ei tule olla vaihe-eroa.
5. Silmämääräinen tarkastus, staattoria pyöritetään akselinsa ympäri ja etsitään irto- ja ristilankoja, sekä puutteita vaihe- ja uraeristyksessä. Lisäksi tarkastetaan käämityn paketin pituus ja leveys.

6. Mittauspöytäkirjaan merkityt tulokset arkistoidaan L-levylle.

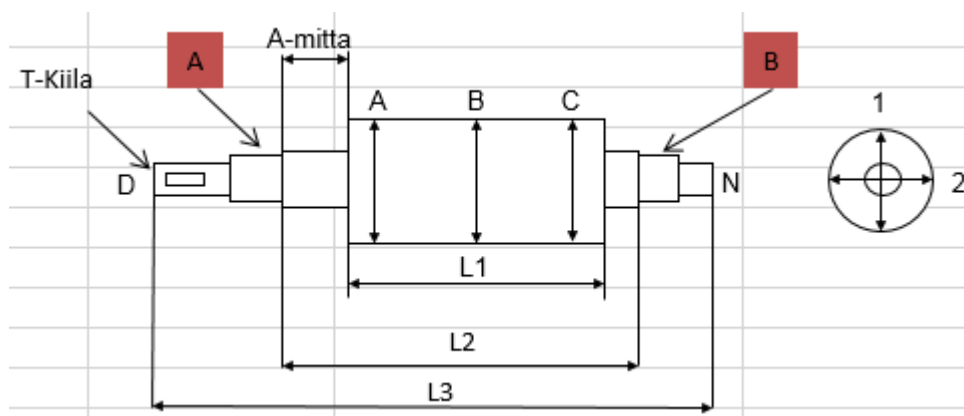
Mikäli staattoripaketti on hartsattu, sille tehdään myös eristysvastus- ja vuotovirtamittaus, lisäksi kirjataan vallitseva lämpötila ja ilmankosteus.

7.2 Roottoreiden vastaanottotarkastus

Roottoreiden vastaanottotarkastus on staattoreiden tarkastuksia huomattavasti yksinkertaisempi, roottoreille suoritetaan visuaalinen tarkastus, jossa todetaan

- akselin kolhuttomuus
- oikosulkurenkkaan olevan ehjä, ei halkeamia tai koloja
- tasapainotuspalojen olevan kunnolla kiinni
- työkorttiin merkattu tasapainotustapa, kun kyseessä on pienmoottorin roottori ja ainoastaan silloin, kun se on jokin muu kuin puolen kiilan tasapainotus
- tuulettimen paikan osalta, että pienmoottori on tasapainotettu ilman kiilaa, ellei työkortti muuta määrää.

Myös mekaanisia mittauksia suoritetaan mittauspöytäkirjan mukaisesti, kuvassa 5 on ilmaistuna roottorista otettavat mekaaniset mitat.



Kuva 5. Roottorista otettavat mekaaniset mitat.

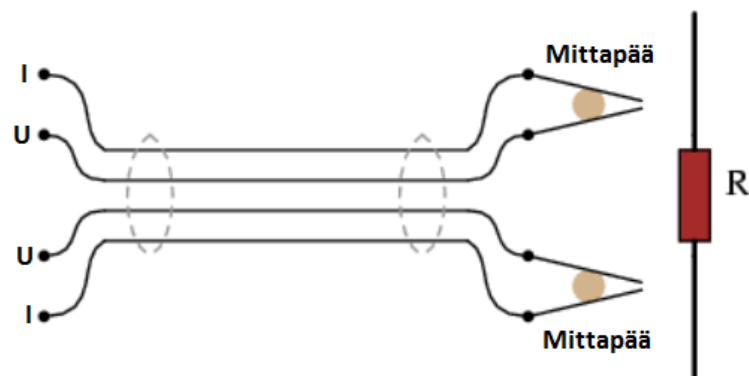
8 VASTAANOTTOTARKASTUKSEN MITTALAITTEET

Tässä luvussa käydään läpi vastaanottotarkastuksessa käytettävät mittalaitteet ja mittauksen suoritustapa. Staattorin mittauksissa käytetään enimmäkseen sähköisiä mittalaitteita, kun taas roottoreiden kohdalla kyse on enimmäkseen mekaanisista mittauksista, kuten tarkastettaessa roottorirungon geometristen mittojen olevan toleranssien sisällä.

8.1 Staattorin mittalaitteet

8.1.1 Resistanssimittari, Hioki 3548

Hiokin 3548 on digitaalinen resistanssimittari, jolla mitataan vastaanottotarkastuksessa staattorin vaiheiden väliset resistanssit. Mittaus suoritetaan kytkemällä anturit mitattaviin vaihejohtimiin. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi moottorin ja staattorin käämityksen, hitsausseamien, sulakkeiden, resistorien ja johtavien materiaalien resistanssin mittaukseen. Saatuja tuloksia voidaan verrata toimittajalta tulleisiin arvoihin. Myös lämpötilan mittaus on mahdollista kytkemällä laitteeseen siihen tarkoitettu anturi. Hioki käyttää nelijohdinmenetelmää resistanssin mittaukseen, jolloin mittaustuloksesta tulee mahdollisimman tarkka. Se syöttää tasavirran mitattavaan kohteeseen ja mittaa samalla sen ylimenevän jännitteen. Kuvassa 6 on nelijohdinmittauksen suorituseriaate.



Kuva 6. Nelijohdin, eli Kelvin-mittaus.

Laitteen mittaustarkkuus normaaliolosuhteissa ilmenee taulukosta 3.

Mittaustuloksen tarkkuus on luotettava, kun lämpötila on $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$

ilmankosteuden ollessa maksimissaan 80 prosenttia. /13/

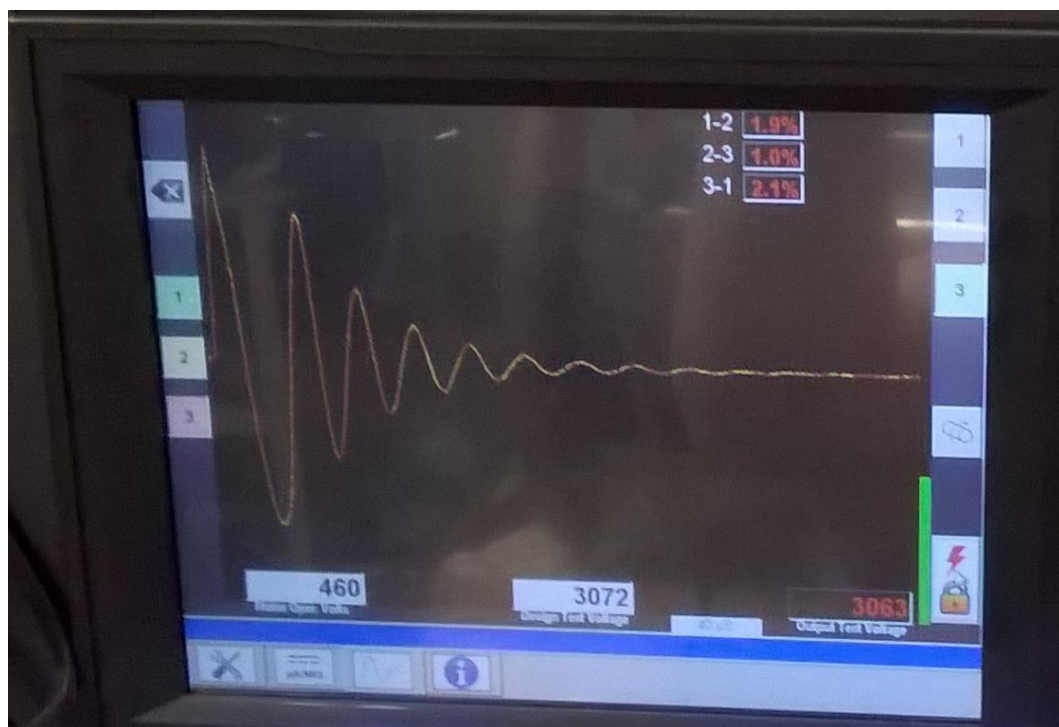
Taulukko 3. Hioki 3548 -resistanssimittauksen tarkkuus maksimissaan 5,5V tyhjäkäyntijännitteellä. /13/

Mittausalue	Maksimi mittausalue	Mittaustarkkuus	Mittausvirta (tarkkuus $\pm 5\%$)
3m Ω	3,5000m Ω	0,100 + 0,200	1A
30m Ω	35,000m Ω	0,100 + 0,020	
300m Ω	350,00m Ω	0,100 + 0,010	300mA
		0,020 + 0,020	100mA
3 Ω	3,5000 Ω	0,020 + 0,020	10mA
30 Ω	35,000 Ω	0,020 + 0,007	
300 Ω	350,00 Ω	0,020 + 0,007	1mA
3k Ω	3,5000k Ω	0,020 + 0,007	
30k Ω	35,000k Ω	0,020 + 0,007	100 μ A
300k Ω	350,00k Ω	0,040 + 0,007	5 μ A
3M Ω	3,5000M Ω	0,200 + 0,007	500nA

8.1.2 Toistoaaltokoestuslaite

Toistoaallon koestukseen ABB käyttää Electrom Instrumentsin iTIG II Winding Analyzeriä, joka toimii $110\text{-}240\text{V} \pm 10\%$ jännitteellä ja 50/60 hertsin taajuudella. Toistoaaltomittaus suoritetaan kytkemällä mitta-anturit vaiheisiin U1,V1 ja W1, toisiopuolen vaiheet U2,V2 ja W2 kytketään tähteen ja erotetaan maasta.

Ennen mittauksen suorittamista, mittalaitteen käyttämä jännite muokataan halutunlaiseksi muuttamalla koneen antaman jännitekaavan ekstra kerroin arvoon 1,6. Muita kaavassa olevia arvoja ei muuteta, sillä kertoimen muuttamisen jälkeen kaava antaa vaaditun koestusjännitteen maksimiarvon, joka on noin 3000 V. Kytkemisen ja asetuksien määrittelyn jälkeen itse mittaus suoritetaan vaihe kerrallaan yksinkertaisesti nappeja painamalla. Mittauksen aikana laite nostaa jännitteen nolasta edellä mainittuun maksimiarvoon. Ensin valitaan haluttu vaihe ja tämän jälkeen painetaan käynnistyspainiketta. Kun mittaus on tehty, näytölle ilmestyy vaiheiden kuvaajat ja prosenttiluvut, joista ilmenee vaihe-erot. Tyypillisesti alle 10 prosentin vaihe-eroa pidetään hyvänä ja yli 15 prosentin eroa huonona, ABB hyväksyy alle 12 prosentin eron. Kuvassa 7 on kuva staattorikäämitykseen tehdyn toistoaaltomittauksen vaihekäyristä.

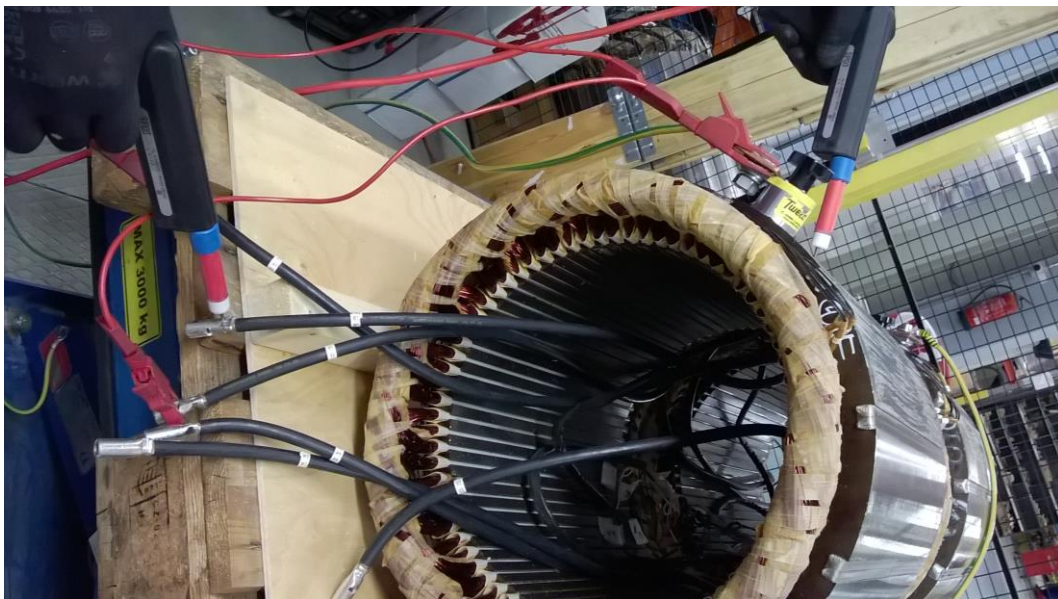


Kuva 7. Toistoaaltoimittarista saadut käyrät ja niiden vaihe-erot.

Toistoaaltoimittauksen lisäksi laitteella voi tehdä eristysvastus-, suurjännite- ja askeljännitemittauksen. /14/

8.1.3 Vuotovirtamittari

Vuotovirtamittauksella tutkitaan staattorin käämityksen eristyksen lujuutta. Mittaus toteutetaan maadoittamalla staattoripaketin runko ja viemällä maadoitusliitin myös mitattavan vaiheen toisioon. Vuotovirtamittarissa on kaksi anturia, joiden kautta johdetaan jännite mitattavan vaiheen kautta runkoon. Laite lopettaa automaattisesti jännitteensyötön kun laukaisu on tapahtunut, suurin virta kirjataan ylös mittauspöytäkirjaan. Kuva 8 on otettu mittaustapahtumasta.



Kuva 8. Vuotovirtamittaus.

8.1.4 Eristysvastusmittari, Sefelec

Eristysvastusmittauksella varmennetaan, että jännitteiset osat ovat riittävästi maasta eristettyjä. Mittaus tapahtuu kytkemällä maadoituselektrodi kiinni paketin runkoon ja liittämällä ensiöpuolen yksi vaihe mittalaitteen positiiviseen napaan, muut kaksi vaihetta maadoitetaan. Toisiopuolen vaiheet pidetään erotettuina toisistaan. Kun kytkennät on tehty, asetetaan testauslaitteen syöttämä jännite 1000 volttiin ja tämän jälkeen käynnistetään laite Start -painikkeesta. Laitteen tekemä testi kestää 60 sekuntia. Kuvassa 9 ABB:n käyttämä Sefelecin eristysvastusmittari.

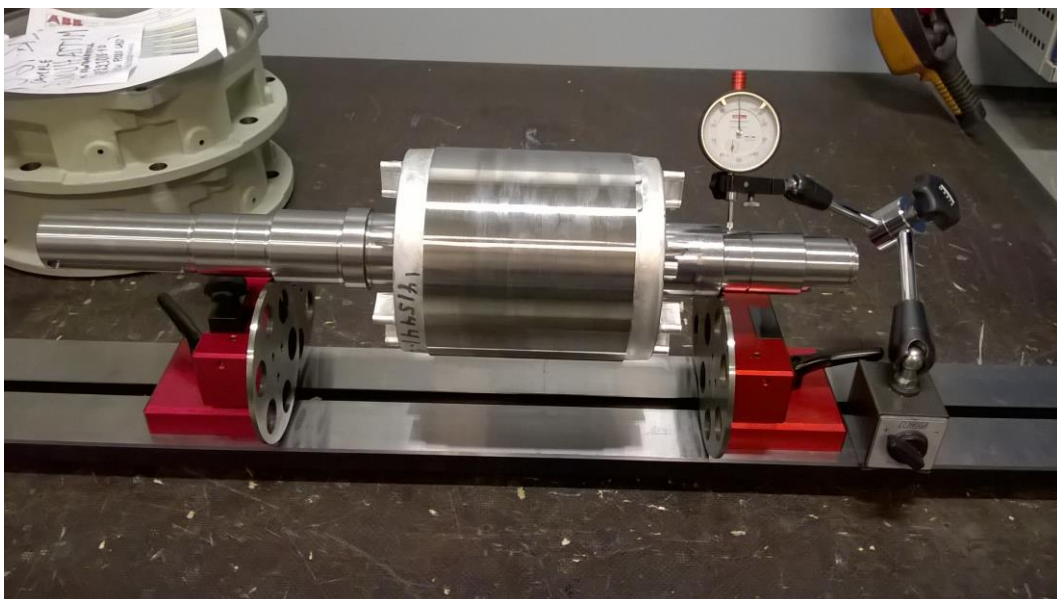


Kuva 9. Eristysvastusmittari.

8.2 Roottorin mittalaitteet

8.2.1 Fisso-keskiöpenkki

Fisso-keskiöpenkkiä käytetään roottoreiden tai muiden pyörähdyskappaleiden mittaukseen. Laitteessa on metallinen jalusta johon voi kiinnittää mittalaitteita, esimerkiksi magneettijalkojen avulla, sen päälle on asennettu kaksi laakeroitua rullaparia. Keskiöpenkissä mitattavan kappaleen maksimipaino on 25 kg ja suurin halkaisija 240 mm, tarvittaessa rullaparia voi nostaa 30 mm:ä. Laitetta käytetään nostamalla roottori rullaparien päälle ja asentamalla laitteeseen mittalaite, joka näyttää rungon halkaisijan epäsymmetrisyydet millimetrin desimaalin tarkkuudella. Roottoria pyöritetään akselinsa ympäri ja tarkkaillaan mittalaitetta, poikkeamia löydettyessä sen kohta merkataan roottoriin nuolella ja kirjoitetaan sen viereen poikkeaman lukema. Kuvassa 10 on roottori vastaanottotarkastusmittauksessa.



Kuva 10. Roottorin symmetrisyyden mittaus Fisso-keskiöpenkissä.

8.2.2 Työntömitta ja kaarimikrometri

Työntömitalla voidaan mitata kohteiden sisämittoja, paksuutta tai syvyyttä 0,1 millimetrin tarkkuudella. Vastaanottotarkastuksessa työntömittaa käytetään roottorin paketin pituuden mittaukseen. Mittaus suoritetaan asettamalla mitattava kohde mittausleukojen väliin. Mittaustuloksen lukeminen mekaanisesta mitasta tapahtuu kaksivaiheisesti: Ensin luetaan kokonaiset millimetrit, jotka jäävät alemman leuan mitta-asteikon nollakohdan vasemmalle puolelle. Kymmenesosamillimetrit luetaan alemman leuan asteikolla olevista luvuista, lukema saadaan kun valitaan luku jonka viiva on lähimpänä päällekkäin millimetriasteikossa olevaan viivaan. Työntömittoja niin suurten kuin pientenkin kappaleiden mittaukseen, kuvassa 11 on ABB:n mittahuoneella käytettävien digitaalisten työntömittojen suurimmat koot.



Kuva 11. Digitaalisia työntömittoja ABB:n mittahuoneella.

Kaarimikrometrit soveltuvat runkomuotonsa ansiosta erityisesti pyöreiden kappaleiden halkaisijan mittaukseen sadasosamillimetrin tarkkuudella. Vastaanottotarkastuksessa niitä käytetään roottoripaketin paksuuden mittaukseen. Mittaus tapahtuu asettamalla kaarimikrometrin mittakärjet mitattavan kohteen kummallekin puolelle ja kiertämällä ne kiinni mitauskohteen pintaan. Mittaustulos saadaan lukemalla varressa olevasta asteikosta millimetrit ja mittarummun asteikosta sadasosamillimetrit. Myös kaarimikrometrien kokoluokat vaihtelevat, kuvassa 12 on kaksi ABB:llä käytettävää mittalaitetta.



Kuva 12. Mekaaninen ja digitaalinen kaarimikrometri.

8.2.3 Johtavuusmittari SIGMATEST 2.069

Sigmatest 2.069 – mittarilla voidaan tutkia materiaalien sähkönjohtavuutta ja lämpötilan sekä etäisyyden vaikutusta johtavuuteen. Kaarevia pintoja tai ohuita kappaleita mitattaessa täytyy ottaa huomioon käyttöohjeen taulukoista löytyvät korjauskertoimet. ABB:llä käytössä olevaa mittaria käytetään alumiinin laadun tarkkailuun. Sigmatest 2.069 korvaa edeltäjänsä Sigmatest 2.068 D- ja EC -mallit, se käyttää mittaustaajuutena joko 60kHz, 120kHz, 240kHz, 480kHz tai 960 kHz. Korkein mittaustaajuus mahdollistaa tarkan mittaustuloksen saamisen ohuestakin testikappaleesta.

Ennen laitteen käynnistämistä tulee siihen kytkeä mittausjohto päineen. Mittari ilmoittaa itse milloin kalibrointia tarvitaan, mutta tarkan mittaustuloksen saamiseksi on perusteltua tehdä kalibrointi jokaisen uudelleenkäynnistyksen jälkeen. Kalibrointi suoritetaan käyttämällä laitteen mukana tulleita kalibrointikappaleita, joiden arvot voidaan tarvittaessa kirjata manuaalisesti laitteen muistiin. Kun tämä on tehty, kalibroidaan laite vielä ilmapistettä vasten pitämällä se etäällä kaikesta metallista ja painetaan painiketta F3. Tämän jälkeen voidaan

laitetta käyttää painamalla mittausanturi mitattavaa kohdetta vasten. Mittaustulos ilmestyy laitteen digitaalinäytölle. Kuvassa 13 on mittalaite pakkauksineen. /15/



Kuva 13. Sigmatest 2.069 -sähkönjohtavuusmittari.

9 STAATTOREIDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJAT

Mittauspöytäkirjaan dokumentoidaan testausvaiheessa laitteistojen tai laitteen mittausten antamat mittaustulokset. Tiedot tallennetaan ja niitä voidaan käyttää tarvittaessa myöhemmin, esimerkiksi antamaan tietoa laitteen tai sen komponenttien silloisesta suorituskyvystä. Mittauspöytäkirjaan tulee kirjata ainakin seuraavat asiat:


- Mittausten tekijä ja päivämäärä.
- Tunniste, josta selviää mikä laite, laitteisto tai materiaali on mittauksen kohteena.
- Suoritetut mittaukset ja mittaustulokset.

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi siihen voidaan kirjata tulosten virhemarginaali, käytetyt mittalaitteet, mahdolliset mittauksessa käytetyt kytkennät, tavaran toimittajan nimi sekä mittausten tekijän kommentteja tai havaintoja. Pöytäkirjojen sisältö vaihtelee runsaasti riippuen sen kulloisestakin käyttötarkoituksesta.

Staattorin vastaanottotarkastuksesta saatujen tulosten kirjaamiseen käytetään tällä hetkellä vain yhtä mittauspöytäkirjaa, vaikka staattoreille suoritetut mittaukset ja ylös kirjattavat tunnisteet saattavat erota toisistaan. Selkeän ja johdonmukaisen dokumentoinnin suorittamiseksi mittauspöytäkirjoja tulee olla kulloiseenkin tarpeeseen sopivat. Tässä luvussa käsitellään nykyistä mittauspöytäkirjaa, jota käytetään toimittajien valmistamien staattoreiden tarkastustulosten dokumentointiin ja sen pohjalta laadittujen uusien mittauspöytäkirjojen luomiseen.

9.1 Nykyinen mittauspöytäkirja

Nykyinen mittauspöytäkirja ei ollut täysin tarkoitukseen sopiva, sillä siitä puuttuu useita vastaanottotarkastuksessa suoritettavia mittauksia, eikä tilankäyttö ollut parasta mahdollista. Tarkastusten otsakkeiden taustaväriksi oli valittu harmaa, mikä haittaa tarkastajan tekemien muutosten tai lisäysten selkeää tulkitsemista. Nykyinen mittauspöytäkirja on kuvassa 14.

ABB Oy, Motors and Generators										FIMOT0369_D										Appendix 1									
INSPECTION RECORD FOR WOUND AND IMPREGNATED STATORS																													
Subsupplier:										Date:																			
ORDER NO.	Number / Quality -marks of stator packet	WINDING TYPE	COIL HEAD DIMENSION	Visual inspection						Electrical test										CONTROLLER									
				LOOSE WIRES	CROSSED WIRES	SLOT INSULATION	PHASE INSULATION	TYING	ERRORS ON WORK CARD	PHASE RESISTANCE R/mΩ				SURGE TEST	Only for impregnated statots														
										U1-U2	V1-V2	W1-W2	ACCESSORIES		3kV	INSULATION RESISTANCE	HV test	Air temperature °C	Humidity %										
																					GΩ	2,4k V							

Kuva 14. ABB:n käyttämä mittauspöytäkirja toimittajilta tulleille staattoreille.

9.2 Uudet mittauspöytäkirjat

Tarkastuksia suorittavan henkilön kommenttien pohjalta uusia mittauspöytäkirjoja luotiin neljä kappaletta, kaksi hartsaamattomille staattoreille ja toiset kaksi hartsatuille staattoreille. Suurimpaan osaan mittauksista riittää tavanomaisille hartsatuille ja hartsaamattomille staattoreille laaditut pöytäkirjat, mutta satunnaisesti tarkastukseen saapuu myös kaksikierroskoneita, joiden vaiheresistanssimittaukset suoritetaan kuudesta eri pisteestä ja näin ollen dokumentointisarakkeiden määrän tarve kasvaa.

Lisäyksenä uusiin pöytäkirjoihin tehtiin sarakkeet käämipäiden pituuden ja halkaisijan kirjaamiseen, kommenttikenttä, sekä rivit resistanssin RL6 kirjaukseen ja sen toleranssiarvoille. Tarkastajan allekirjoitusrivi siirrettiin ylös päiväyksen viereen tilan säästämiseksi ja hartsaamattomien staattoreiden mittauspöytäkirjasta poistettiin kokonaan vain hartsatuille tehtävät testit. Lisärivejä luotiin jokaiseen

uuteen mittauspöytäkirjaan. Kuvissa 15-16 on tavanomaisten hartsattujen ja hartsaamattomien staattoreiden uudet mittauspöytäkirjat.

[illegible]

Kuva 15. Hartsaamattomille staattoreille luotu uusi mittauspöytäkirja.

[illegible]

Kuva 16. Hartsatuille staattoreille luotu uusi mittauspöytäkirja.

Kaksikierroskoneiden staattoreiden mittauspöytäkirjoihin lisättiin sarakkeet jokaiselle vaiheelle ja niiden ympäristöön pyrittiin jättämään ylimääräistä tilaa

myös vaihemerkintöjen mahdollisille muutoksille mittaustilanteessa. Sarakkeiden kokoa pienennettiin lisätilan saamiseksi. Kaksikierroskoneiden hartsattujen ja hartsaamattomien staattorien uudet mittauspöytäkirjat ovat kuvissa 17 ja 18.

[illegible]

Kuva 17. Kaksikierroskoneisiin tulevien hartsaamattomien staattoreiden uusi mittauspöytäkirja.

[illegible]

Kuva 18. Kaksikierroskoneiden hartsattujen staattorien uusi mittauspöytäkirja.

10 LOGISTIIKKA

Logistiikalla on keskeinen merkitys aktiivikomponenttien laatuun. Tässä luvussa käsitellään toimitusketjussa vaikuttavien tekijöiden vaikutusta aktiiviosiin ja niissä käytettävien materiaalien laatuun.

10.1 Varastointi ja kuljetus

10.1.1 Varastointi

Varastointi mielletään usein kustannuksia aiheuttavaksi toiminnoksi, se on kuitenkin välttämätöntä ja se tuottaa lisäarvoa oikein suunniteltuna. Hyvin toteutettuna varastointi sitoo mahdollisimman vähän yhtiön pääomaa, eli varastotilat tulee pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä, pieni varastotila vapauttaa tilaa muihin tarpeisiin.

Toimitusketjun alussa, eli tavarantoimittajalla, on suuri vastuu aktiivikomponenttien ja niiden materiaalin oikeaoppisessa käsittelyssä sekä varastoinnissa. Aktiivikomponenttien materiaaleina käytetään muun muassa kuparia, pääasiassa teräksestä tehtyjä sähkölevyjä ja alumiinia, niiden ominaisuudet saattavat kärsiä vääränlaisesta varastoinnista tai sen aikana tapahtuvien virheellisten toimintatapojen johdosta.

Lakattu kuparilanka ei ole erityisen altis korroosiolle, mutta vaurioitunut eristekerros voi aiheuttaa kierros-, maa- tai vyyhtisulkuja käämin sisällä. Vaurioiden välttämiseksi materiaali tulee varastoida sääsuojustuun tilaan siten, ettei rullissa oleva lanka joudu työkonoiden, kuten trukin töytäisemäksi.

Alumiini reagoi happeen, jonka seurauksena sen pinnalle muodostuu ohut oksidikerros, joka suojaaa sitä korroosiota vastaan. Oksidikerros pysyy stabiilina pH-arvon ollessa 4-9. Alumiinia tulee säilyttää sen muodostamasta suojakerroksesta huolimatta kuivassa tilassa, jossa lämpötila on vähintään 10 °C.

Teräs on korroosioherkkä materiaali, jonka ruostumisen voi aiheuttaa ympäristötekijät, kuten vesi ja happi. Ruostumisen kiihtymiseen voi vaikuttaa myös sen pintaan joutuneet suolat, joita siihen voi joutua esimerkiksi kuljetuksen aikana. Teräksen varastointi tulisi tapahtua kuivassa sisätilassa, joissa ilmankosteus ei pääse vaikuttamaan sen laatuun. Teräksen korroosionkestoa voidaan parantaa myös erilaisin pinnoittein.

10.1.2 Kuljetus

Kuljetusmuodon valintaan vaikuttaa monet eri tekijät, esimerkiksi kuljetuksen kiireellisyys, vastaanottajan sijainti, toimituserän koko, tavarankuljetuksen paketoiminta ja sen tekniset ominaisuudet sekä mahdolliset erityiset kuljetusolosuhteet. ABB käyttää tyypillisesti kolmea eri kuljetusmuotoa moottoreita toimitettaessa, ne ovat maantiekuljetus, vesikuljetus ja lentokuljetus. Myös yhdistelmäkuljetukset ovat varsin tavanomaisia, tuote kuljetetaan maantietä pitkin terminaaliin, jossa se lastataan laivaan. Maantiekuljetuksen etuna on sen nopeus ja edullisuus lyhyillä matkoilla, vesikuljetus sopii puolestaan pitkille kuljetusetäisyyksille, jolloin se on taloudellista niin ympäristön kuin kustannuksienkin kannalta. Lentokuljetuksella saadaan tavara nopeasti asiakkaalle, se ei kuitenkaan ole kovin taloudellista, joten sitä käytetään vain erikoistapauksissa. /17/

Kuljetusmuodoista yleisin, eli maantiekuljetus, vaatii toimitettavan tuotteen sitomista, jolloin kuorma ei pääse liikkumaan ja aiheuttamaan vaaratilanteita tai materiaalivahinkoja. Liikkumisen estämiseksi voidaan käyttää myös kitkamattoja, joka kasvattaa kuljetuslavan ja kuormalavan välistä kitkakerrointa. Tavara tulee kuormata tiiviisti ja painon tulee jakaantua tasaisesti koko kuljetuslavan lattiapinnalle, painavimmat kollit sijoitetaan pyörien kohdalle.

10.2 Pakkaus

Pakkauksen pääasiallinen tarkoitus on suojata tuotetta vaurioilta, mutta sen avulla voidaan myös markkinoida tuotetta tai välittää tietoa sen käyttötarkoituksesta tai

ominaisuuksista. Hyvin suunniteltu pakkaus helpottaa tuotteen varastointia ja kuljetusta.

ABB kiinnittää moottorinsa aina puulavalle, joka mitoitetaan moottorin koon mukaan, lisäksi pienet moottorit pakataan pahvilaatikoihin, jotka mahdollistavat moottoreiden päällekkäisen lastauksen ja varastoimisen. Kookkaammat moottorit voidaan tarpeen vaatiessa pussittaa, pussi toimii pölysuojana moottoreiden ollessa varastossa tai sadesuojana kuljetuksen aikana. Merivientikuljetuksella menevät moottorit laitetaan aina puulaatikkoon, jolloin myös isompia moottoreita voidaan varastoida päällekkäin.

Aktiivikomponentit pakataan tyypillisesti puisille lavoille, mutta kuparitankoroottoreiden kohdalla käytetään rauta-alustaa. Puulavan päälle on kiinnitetty uran muodostavat puokappaleet, jotka estävät komponentin sivuttaisliikkeen. Uran muodostavat puutuet eivät kuitenkaan saa olla neliön tai suorakulmion muotoisia kappaleita, vaan niiden tulee olla kuvan 19 mukaiset parhaan mahdollisen tuen sekä osien vaurioitumattomuuden varmistamiseksi.



Kuva 19. Roottorit aseteltuna niille tarkoitetulle lavalle.

Roottoreita varastoitaessa niiden päälle ei ole välttämätöntä levittää muovista suojaa, sillä sisätiloissa ne ovat turvassa kosteudelta. Roottoreiden koko määrittää

lavalle pakattavan roottorimäärän. Staattiset ja konfiguroitavat komponentit tulee pakata omille lavoilleen.

Lähetettäessä roottoreita, tulee niiden akselit rasvata suojavahalla ruostevaurioiden estämiseksi. Roottoripaketit kiedotaan muoviin sekä ylä- että alapuolelta, mikä estää kosteuden ja epäpuhtauksien pääsemistä sen pinnoille. Lopuksi valmiin paketin ympärille sidotaan peltivanne, joka pitää komponentit paikallaan kuljetuksen aikana. Vaurioiden välttämiseksi lava tulee valita siten, ettei mikään roottorin osa ylitä lavan reunoja. Joissakin tapauksissa myös roottoreita pakataan puiseen merivientilaatikkoon tai kannelliseen ja kauluksilla varustettuun EUR-lavaan.

Ilman akselia lähetettävät roottorit pakataan tiiviisti kauluksella varustetulle EUR-lavalle pystyasentoon ja sidotaan peltivanteilla. Yhdellä lavalla tulee olla vain yhtä lajimerkkiä ja saman kaupan kaikki roottorit pyritään lastaamaan samalle lavalle.

10.3 Tarkastuspaikka

Saapuneen tavaran tarkastus tulee tehdä silmämääräisesti ja viipymättä kun tavara on siirretty tehtaan tiloihin, tarkastuksen voi tehdä tavaran vastaanottanut trukkikuski. Silmämääräisessä tarkastuksessa tulee tarkastaa materiaalin tai komponenttien oikea lukumäärä ja todeta, etteivät komponentit tai niiden pakkaus ole saanut kolhuja tai muita vaurioita kuljetuksen aikana.

Saapuneiden roottoreiden tarkastuspaikka sijaitsee KK-rakennuksen mittahuoneella, jonka eteen toimitetaan tarkastusta vaille olevat roottorit. Mittahuone sijaitsee rullaratojen vieressä, mihin saapuva tavara tulee rekkojen kuljettamana. Staattorit puolestaan kuljetetaan KK-rakennuksen alakertaan, jossa niiden tarkastuspaikka sijaitsee. Hartsaamattomien staattoreiden tarkastuspiste on samassa tilassa kuin sahaussolu.

11 AKTIIVIKOMPONENTTIEN STATISTIIKKA

Tässä luvussa käsitellään aktiivikomponenteista vuosina 2016 ja 2017 tehtyjä notifi kaatioita. Notifi kaatiot ladataan SAP – järjestelmästä Exceliin, jonka avulla kerätty data käydään läpi ja suodatetaan siten, että tarkastelun kohteeksi päätyvä tieto käsittelee nimenomaan aktiivikomponenttien laatua. Toimittajilta tulleiden roottoreiden notifi kaatioita ei käsitellä erikseen niiden vähäisen määrän takia.

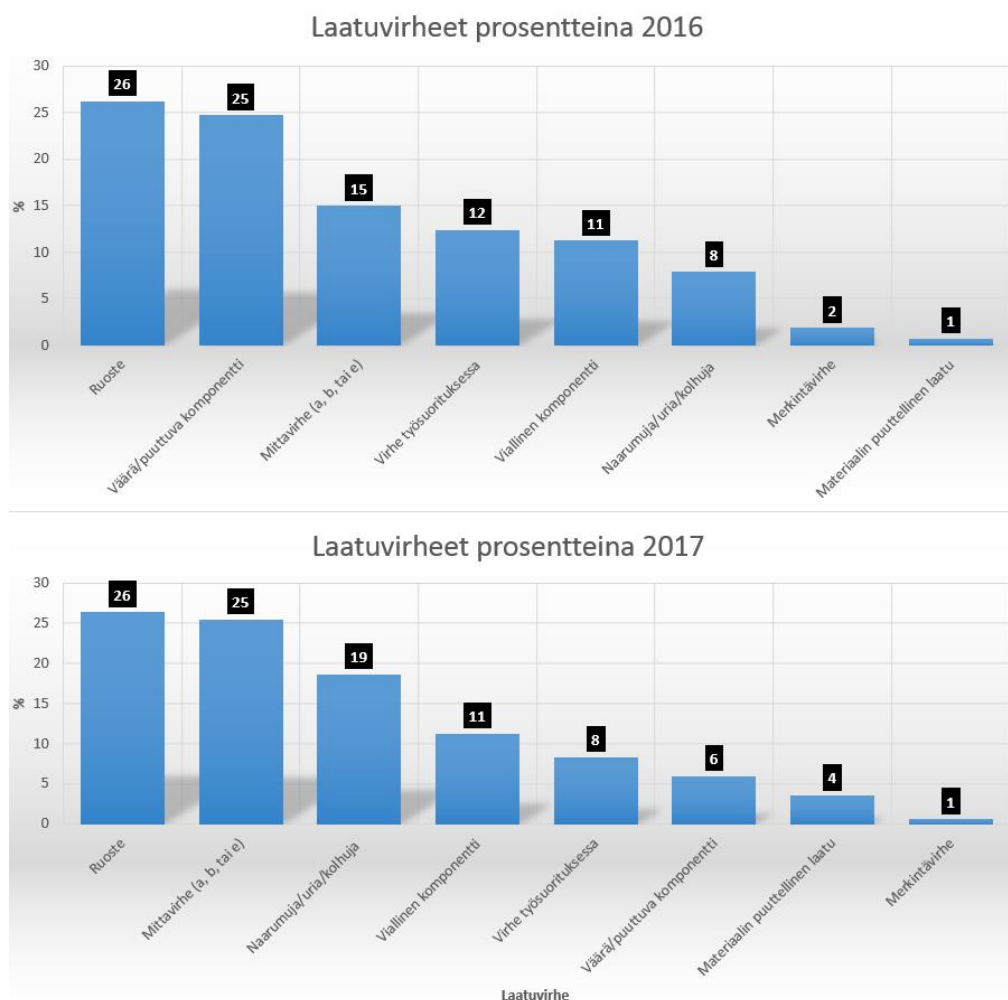
11.1 Roottoreiden notifi kaatiot

Havaitut virheet jaoteltiin alla olevien laatuvirheiden mukaisesti, perään on myös liitetty esimerkkejä siitä mitä laatuvirhe käytännössä pitää sisällään:

- Mittavirhe: Paketin tai akselin pituus-/leveysheitot.
- Ruoste.
- Väärä/puuttuva komponentti: Käytetty väärää akselia/roottoria, kosteussuoja puuttuu tai eristerenkaat puuttuu.
- Naarmuja/uria/kolhuja: Vahingoittunut joko logistiikan tai muun työnsuorittajan toimesta.
- Viallinen komponentti: Akselissa liian paksu olake, RT kiero, pullistumat akselissa tai roottorissa.
- Materiaalin puutteellinen laatu: Vajaa valu, RT – paketit huonoja tai huokoinen oikosulkurengas.
- Merkintävirhe: Roottorin tunnistustietoja koskevat puutteelliset merkinnät.
- Virhe työsuorituksessa: Maalattu RT laskettu märkänä alustalleen, tasapainoprikkujen huonosti tehty kiinnitys tai pidätinrenkaan ura jätetty tekemättä.

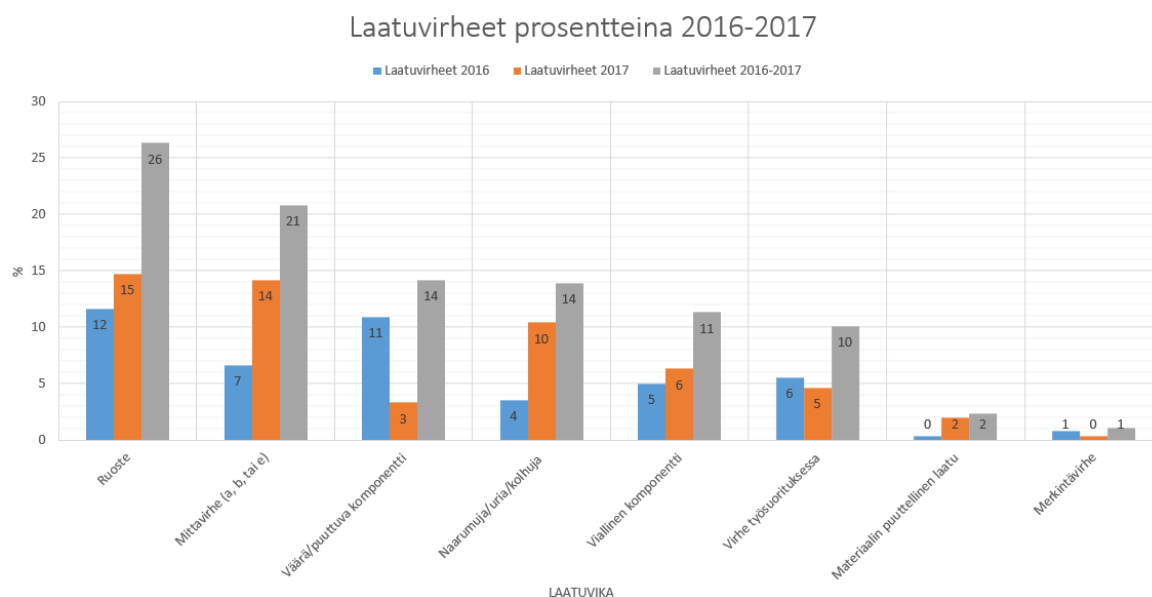
Kuvassa 20, on vuosien 2016 ja 2017 aikana havaitut laatuvirheet prosenttiyksiköinä ilmaistuna. Laatuvirheiden prosentit on laskettu suhteutettuna silloisen vuoden kokonaismäärään ja ne on jaoteltuna suurimmasta pienimpään.

Pylväiden alle on kirjoitettu tunniste, josta selviää laatuvirheen luonne. Kunkin virheen prosenttiosuudet nähdään mustalla taustalla olevista valkoisista kirjaimista.



Kuva 20. Roottoreiden laatuvirheet vuosina 2016–2017.

Kuvassa 21 on vuosien 2016–2017 laatuvirheet prosentteina suhteutettuna vuosien yhteenlaskettuun määrään. Sininen kuvaa vuoden 2016 laatuvirheitä, oranssi vuoden 2017 ja harmaa kummankin vuoden yhteenlaskettua laatuvirhemäärää. Virheet on järjestettyä suurimmasta pienimpään kokonaisvirhemäärän mukaan. Pylväsryppäiden alapuolella on tunniste, josta selviää laatuvirheen luonne.



Kuva 21. Vuosina 2016–2017 kirjatut roottoreiden laatuvirheet suhteutettuna kummankin vuoden yhteenlaskettuun määrään.

Kuvassa 22 on SAP – järjestelmään kirjattujen notifikaatioiden määrä prosentteina kahden vuoden ajalta. Kuukausittaisen notifikaatioiden määrä on suhteutettuna kahden vuoden aikana kirjattujen notifikaatioiden kokonaismäärään. Siniset pallot valkoisella numerolla kertovat kuukausittaisen notifikaatiomäärän prosentteina. Punainen viiva on trendikäyrä, kuvassa näkyvä trendikäyrä kertoo notifikaatiomäärän nousevan ajanmittaan.

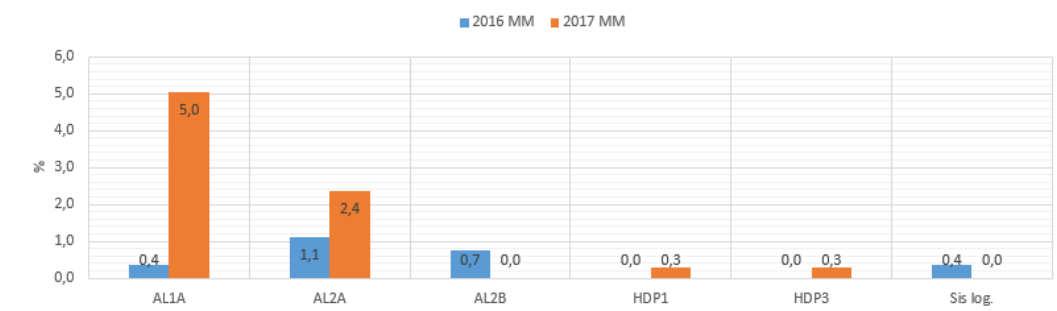


Kuva 22. Kahden vuoden ajalta roottoreista kirjatut notifikaatiot kuukausittain.

Kuvassa 23 nähdään laatuvikojen havaitsemispaikat, jotka on jaoteltuna joko MM- tai KK – rakennuksessa sijaitseviin linjoihin, sisäisen logistiikan tekemiin

havaintoihin tai mittahuoneen tarkastuspisteelle. Sininen pylväs kertoo havaitsemispaikassa tehtyjen havaintojen määrän prosentteina vuonna 2016 ja oranssi pylväs vuonna 2017. Oheisen kuvan avulla on helppo tarkastella laatuviikkojen määrää kahden vuoden välillä ja tehdä johtopäätöksiä, esimerkiksi mittahuoneen vaikutuksesta linjoilla tapahtuviin laatuvirhehavaintomääriin.

MM -rakennuksessa havaittujen laatuviikkojen määrä prosentteina 2016-2017

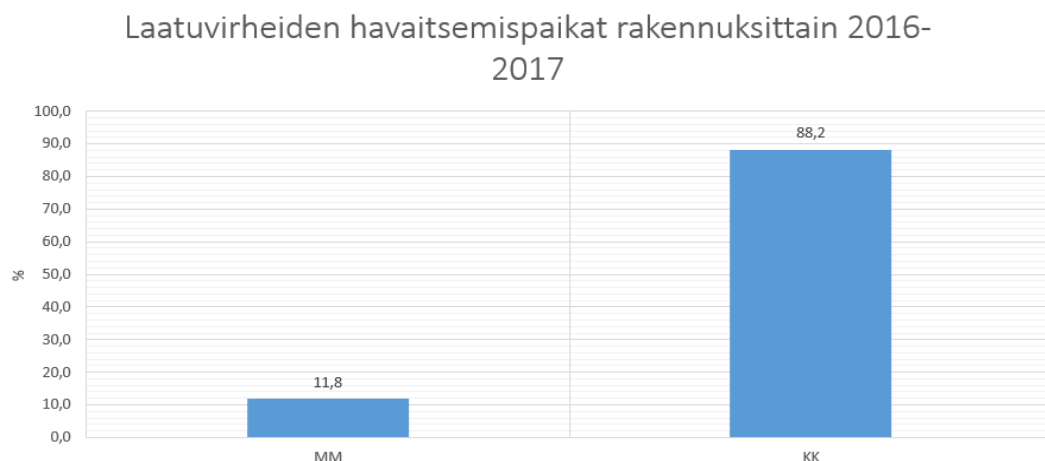


KK -rakennuksessa havaittujen laatuviikkojen määrä prosentteina 2016-2017



Kuva 23. Roottoreiden laatuviikkojen havaitsemispaikat 2016–2017.

Tämän luvun kuvassa 24 nähdään virheiden jakaantumisen KK- ja MM –rakennusten välillä kahden vuoden aikana. Kuvan virhemäärät ovat suhteutettuna rakennusten välisiin valmistusmääriin. Pylväiden alapuolelle on merkattu kumpaan rakennukseen pylvään laatuvirhemäärä on kohdistettu.



Kuva 24. Roottoreissa havaittujen virheiden jakaantuminen rakennuksittain 2016–2017 suhteutettuna valmistusmääriin.

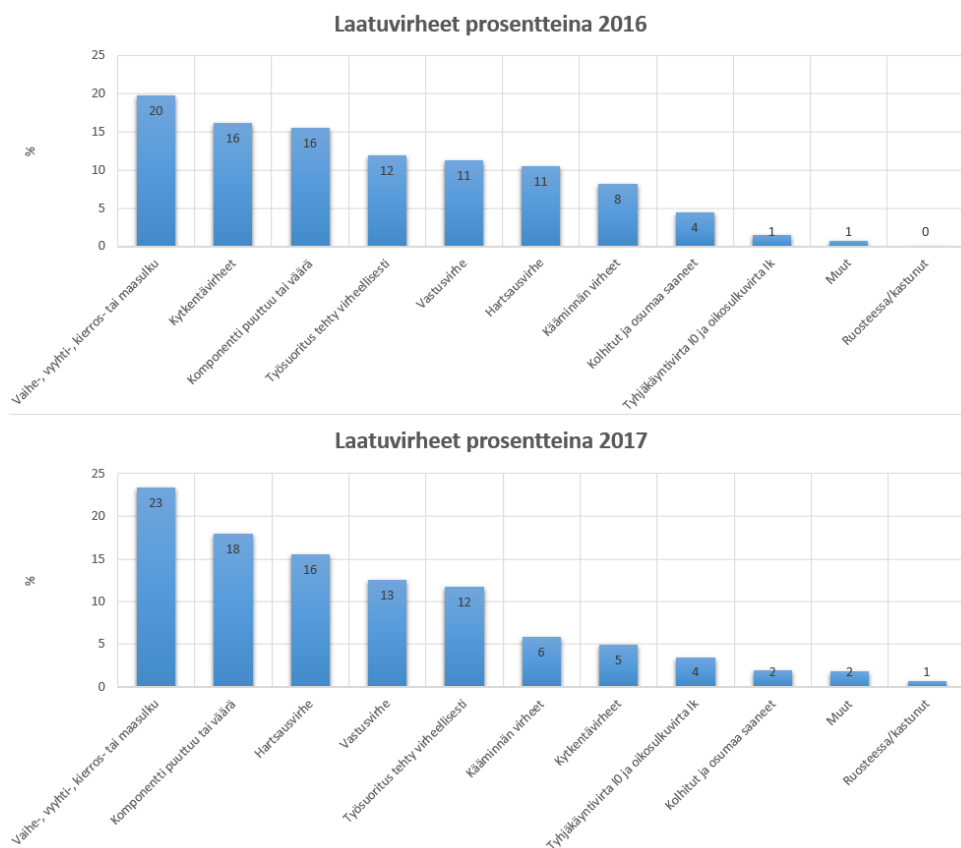
11.2 Staattoreiden notifikaatiot

Havaitut virheet jaoteltiin alla olevien laatuvirheiden mukaisesti, perään on myös liitetty esimerkkejä siitä mitä laatuvirhe käytännössä pitää sisällään:

- Vaihe-, vyyhti-, kierros-, tai maasulku: Uraeriste rikki tai luiskahtanut pois paikoiltaan, käämipään pituudesta aiheutuva sulku tai eriste rikki.
- Vastusvirhe: Lanka poikki, käytetty väärää lankaa tai huono johdinten välinen liitos.
- Tyhjäkäyntivirta IO ja oikosulkuvirta Ik: Kolhu käämeissä, hammasvälin heitto tai väärin käämitty.
- Hartsausvirhe: Hartsia liikaa tai liian vähän, uraeriste hiottu rikki tai tikku siirtynyt hartsauksessa.
- Komponentti puuttuu tai väärä: Vaihemerkinnät puuttuvat, väärät johtimet tai väärä staattori.
- Työsuoritus tehty virheellisesti: Termistori pimeänä, kelausvirheet tai pakkausvirheet.
- Kolhitut ja osumaa saaneet: Vahingoittunut joko logistiikan tai muun työnsuorittajan toimesta.

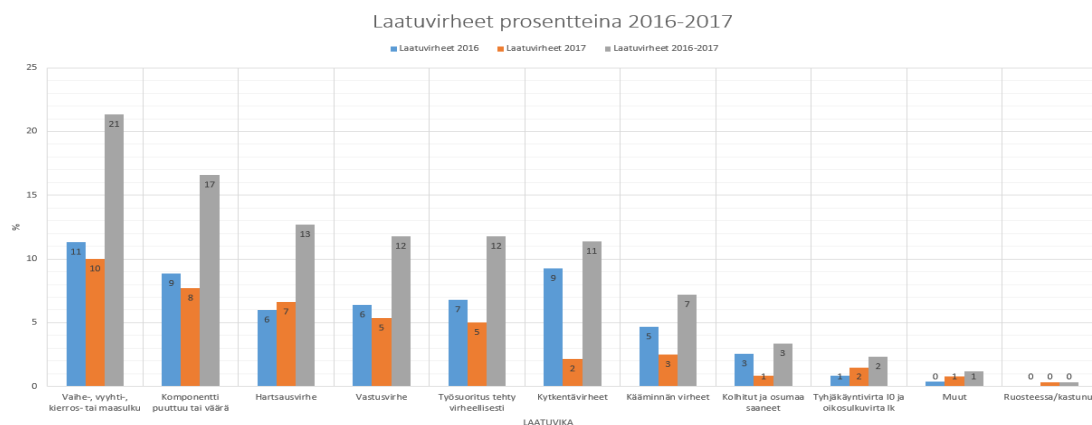
- Ruosteessa/kastunut.
- Kääminnän virheet: Irto- ja/tai ristilangat, vyyhden leveys/pituus väärä tai kaapeleiden ulostulot väärin.
- Kytkentävirheet: Ulostulot liian pitkät, pyörii väärään suuntaan tai sidonnassa ilmenneet puutteet.
- Muut: Käyntiääni tai staattori väärän muotoinen.

Kuvassa 25 on vuosien 2016 ja 2017 laatuvirheet prosenttiyksiköinä ilmaistuna. Laatuvirheiden prosentit on laskettu suhteutettuna silloisen vuoden kokonaismäärään. Virhemäärät on jaoteltuna suurimmasta pienimpään ja pylvään alle on laitettu virhettä kuvaava selite. Selitteiden virhemäärät poikkeavat kumpanakin vuotena toisistaan, joten niiden sijoituspaikat saattavat erota toisesta vuodesta.



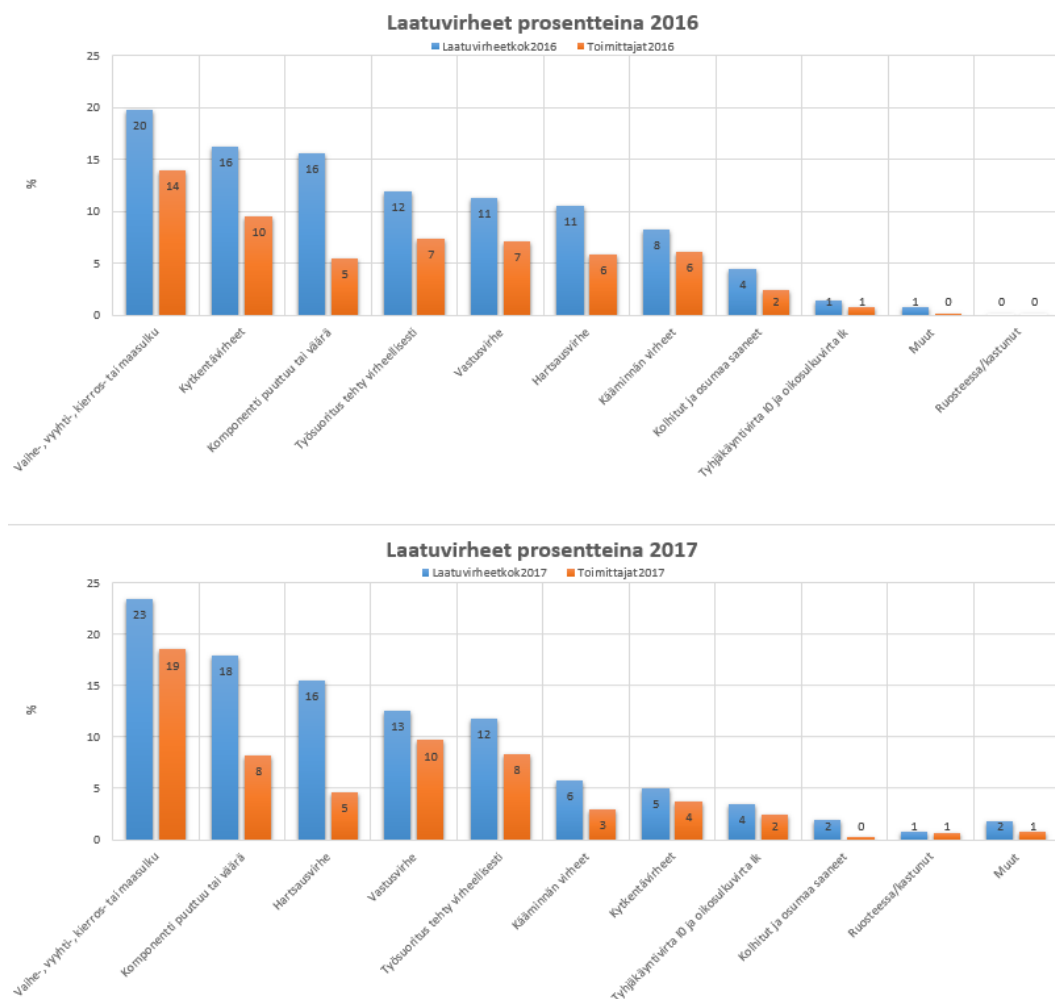
Kuva 25. Staattoreiden laatuvirheet vuosina 2016–2017.

Kuvassa 26 on vuosien 2016–2017 laatuvirheet prosentteina suhteutettuna vuosien yhteenlaskettuun määrään. Sininen pylväs kuvaa vuoden 2016 laatuvirhemäärää, oranssi vuoden 2017 ja harmaa näiden summaa. Lisäksi virheet on jaoteltuna suurimmasta pienimpään kokonaismäärän mukaan. Pylväsryppäiden alapuolelle on kirjoitettu laatuvirhettä kuvaava selite.



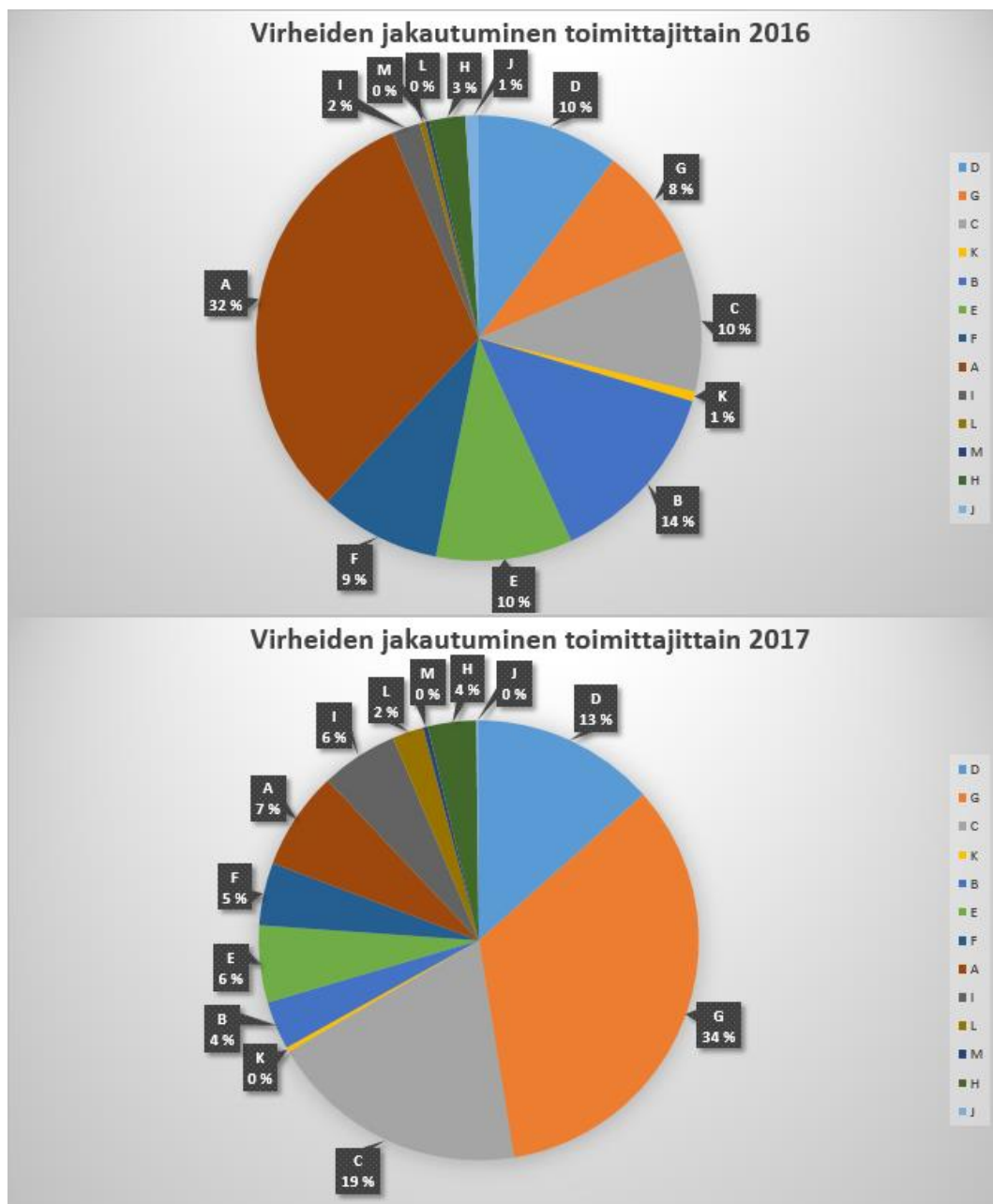
Kuva 26. Vuosina 2016–2017 kirjatut staattoreiden laatuvirheet suhteutettuna kummankin vuoden yhteenlaskettuun määrään.

Kuvassa 27 toimittajilta tulleiden staattoreiden laatuvirhemääriä verrataan kokonaisvirhemääriin. Sininen pylväs kuvaa vuoden kokonaisvirhemäärää, jossa yhteenlaskettuna ovat omavalmisteisten staattoreiden ja toimittajilta tulleiden staattoreiden virheet. Oranssi pylväs kuvaa vuosittaista virhemäärää, joka on havaittu toimittajilta tulleista staattoreista. Pylväiden alle on kirjoitettu selite, joka kertoo havaitun laatuviian.



Kuva 27. Toimittajilta saapuneiden staattorien laatuvirhemäärät rinnastettuna vuosien 2016 – 2017 kokonaisvirhemääriin.

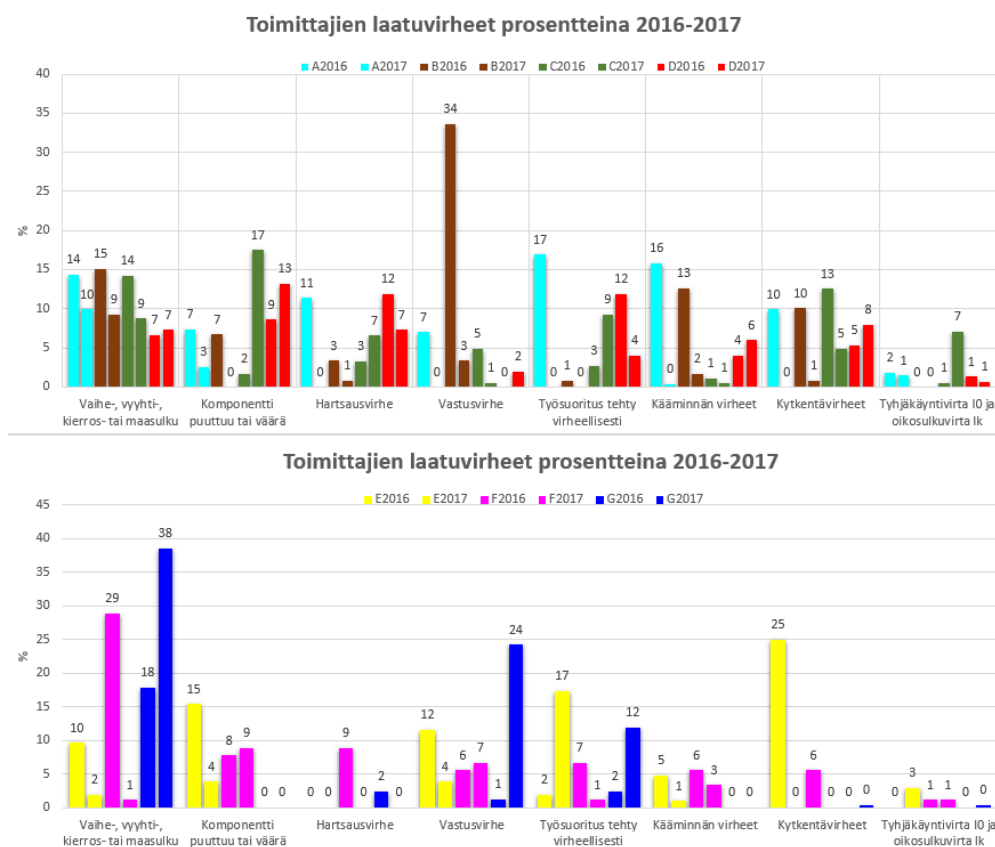
Kuvaan 28 on muodostettu ympyrädiagrammit, josta näkee kaikkien staattoritoimittajien toimittamat laatuvirheiset staattorit prosentuaalisesti vuosina 2016 ja 2017. Toimittajakohtaisia määriä vertaillaan toimitettuun kokonaismäärään. Toimittaja H on eri kumpanakin vuonna. Kuvasta voimme tarkastella toimittajan suoriutumista vuosina 2016 ja 2017 ja todeta virhemäärän joko kasvaneen tai kutistuneen toimittajakohtaisesti.



Kuva 28. Virheellisten staattoreiden jakaantuminen toimittajien kesken.

Seuraavaksi tarkastellaan seitsemän eri toimittajan tilastietoa, jotka muodostavat noin 90 % kaikista toimittajilta kirjatuista laatuvirheistä viimeisen kahden vuoden ajalta. Toimittajien nimeämiseen on käytetty aakkosia A-G, joista A on eniten notifikaatioita saanut toimittaja vuonna 2016 ja B toiseksi eniten. Listausta jatketaan edellä mainitulla tavalla aina viimeiseen kirjaimen asti.

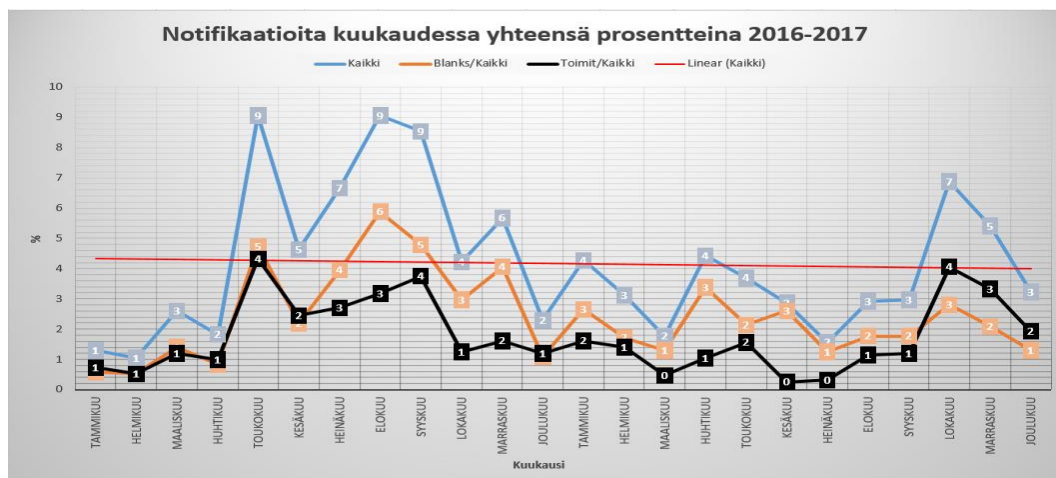
Kuvassa 29 on jaoteltu toimittajat aakkosittain ja muodostettu pylväsdiagrammi, jossa kaksi samanväristä palkkia kuvaa yhtä toimittajaa kunkin laatuvirheen kohdalla. Vasemmanpuoleinen palkki kertoo toimittajasta tehdyt notifi kaatiot prosentteina suhteutettuna kahden vuoden toimittajakohtaiseen kokonaismäärään vuonna 2016, oikeanpuoleinen palkki kertoo saman vuodelta 2017. Kuvasta on karsittu pois kolme lukumäärältään pienintä laatuvirhettä. Pylväiden alapuolelle on kirjoitettu laatuvirhettä kuvaava selite.



Kuva 29. Toimittajilta tulleiden staattoreiden laatuvi kojen kehitysvertailu kahden viime vuoden ajalta virheiden mukaan jaoteltuna.

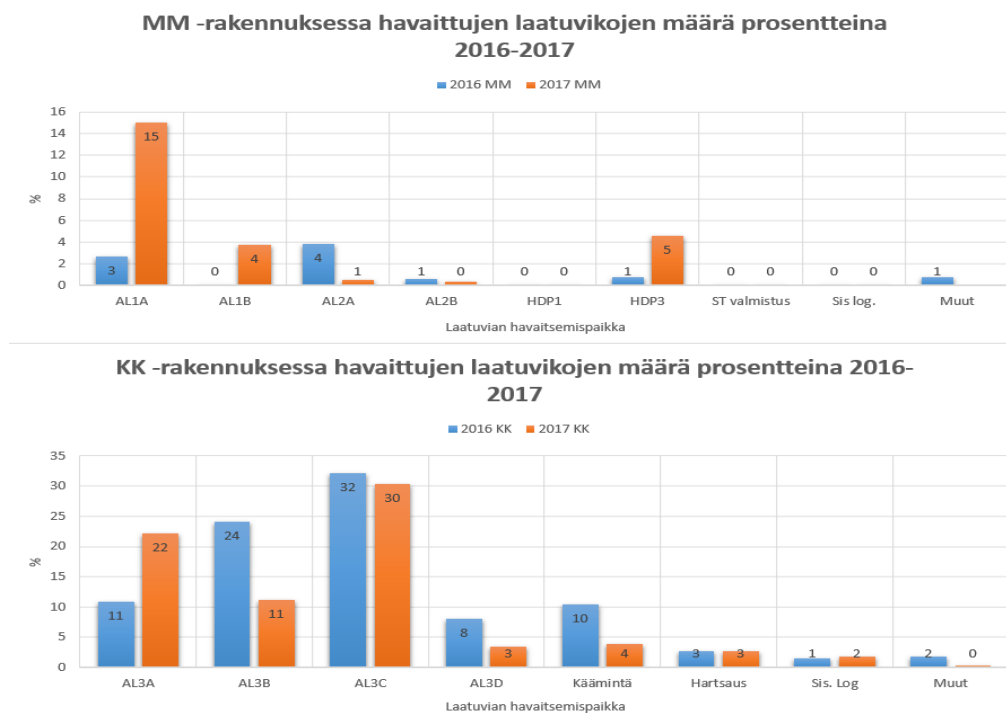
Kuvassa 30 nähdään omatuotantoisten sekä toimittajien laatuvirheellisistä staattoreista tehtyjen notifi kaatioiden jakaantuminen viimeisen kahden vuoden ajalle prosentteina ilmaistuna. Jokaisen kuukauden notifi kaatiot on suhteutettuna niiden kokonaismäärään. Sininen jana kuvaa omavalmisteisten ja toimittajilta tulleiden staattoreiden kokonaisvirhemäärää, oranssi omavalmisteisten ja musta

toimittajien virhemäärää. Punainen on trendikäyrä, joka kertoo virhemäärän olevan laskeva.



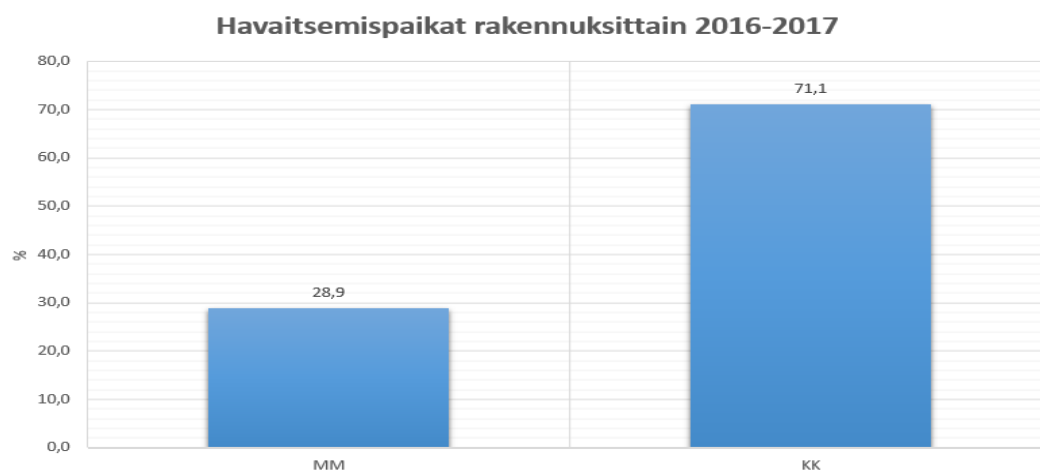
Kuva 30. Staattoreista tehtyjen notifikaatioiden jakaantuminen kuukausittain.

Kuvassa 31 laatuvirheet on jaoteltu rakennuksittain ja niiden havaitsemispaikan mukaan. Sininen palkki kuvaa tehtyjä havaintoja vuonna 2016 ja oranssi vuonna 2017. Kuvasta voidaan tarkastella vuosittaisten virhemäärien kehitystä kullakin linjalla MM- tai KK –rakennuksessa. Valmistuslinjan tunniste tai muu laatuvirheen havainnointipaikka on nähtävissä pylvaiden alla.



Kuva 31. Staattoreiden laatuviikojen toteamispaikat KK- ja MM- rakennuksessa.

Tämän luvun lopuksi kuvassa 32 voidaan havaita miten virheet ovat jakaantuneet MM- ja KK- rakennuksen välillä kahden viimeisen vuoden aikana.



Kuva 32. Staattoreissa havaittujen laatuviirheiden määrä rakennuksittain vuosina 2016-2017 suhteutettuna valmistusmääriin.

12 ANALYSOINTI JA KEHITYSIDEAT

Tässä luvussa käsitellään roottoreiden ja staattoreiden statistiikkatietoja ja todetaan muutamia kehitysideoita laadun parantamiseksi.

12.1 Analysointi

12.1.1 Roottorit

Roottoreiden notifikaatioista tehtyjä diagrammeja tarkasteltaessa voidaan huomata, että ruoste on merkittävin laadunheikentäjä kumpanakin tarkasteltavana vuotena 26 prosentin osuudellaan. Ruoste on ongelmallinen laatuviika, sillä roottoreihin kertyneen kosteuden alkuperää on hankala selvittää toimittajien syyttäessä toisiaan. Puutteellisen pakkaustavan seurauksena syntyviä ruostevaurioita on voitu todeta muutamia tapauksia, mutta myös tällöin vastuuta vältellään vetoamalla muiden maiden pakkausohjeeseen.

Vuonna 2016 väärin tai puuttuvien komponenttien määrä ylsi lähes vastaavalle tasolle, mutta viime vuoteen verrattuna on havaittavissa huomattavaa parannusta tämän laatuvirheen suhteen sen ollessa enää kuusi prosenttia. Sen sijaan kolhittujen ja mittavirheellisten roottoreiden määrät nousivat prosentuaalisesti huolestuttavalle tasolle ja yhdessä ruosteen kanssa ne muodostavat 70 %:ia koko vuoden 2017 laatuvirheistä.

Kuukausittaisia notifikaatiomääriä tarkasteltaessa voidaan todeta, että vuotena 2017 kirjattiin 60 prosenttia kaikista laatuhuomautuksista, tämän johdosta trendikäyrä on nouseva. Suurin notifikaatioparvi ajoittui vuoden 2017 tammi-toukokuulle. Tammi-huhtikuussa notifikaatioita tehtiin eniten roottoreista, jotka eivät olleet hyllypaikassaan. Toukokuussa mitään tiettyä, määrällisesti suurinta virhettä ei ollut havaittavissa, vaan notifikaatiot olivat jakaantuneet suhteellisen tasaisesti.

Peräti 88,2 prosenttia laatuhuomautuksista kirjattiin KK:ssa. Huomion arvoista on, että mittahuoneen ansiosta linjoilla tehtävät havainnot vähenivät 22,8 prosentin verran vuonna 2017.

12.1.2 Staattorit

Staattorin laatuvirheitä tarkastellessa voi huomata, että erinäisistä syistä aiheutuvat sulut pitävät vikalistan kärkipaikkaa kumpanakin vuotena. Vuonna 2016 laatuvirheet ovat jakaantuneet tasaisemmin, kun taas vuonna 2017 viisi suurinta laatuvirhettä dominoivat listaa ja muodostavatkin peräti 82 prosenttia kaikista virheistä.

Vertailtaessa toimittajien laatuvirhemäärää kokonaisvirhemäärään voidaan nähdä, että ne muodostavat huomattavan 60 prosentin osuuden kumpanakin tarkasteltavana vuotena. Erityisesti toimittajien staattoreita vaivaa vakavat, erilaisia sulkuja aiheuttavat laatuvirheet, joiden korjaus on usein haastavaa tai jopa mahdotonta. Tarkemman tarkastelun alla olevat seitsemän staattoritoimittajan vuosittaiset virhemäärät eroavat hämmäntävän paljon toisistaan. Esimerkiksi toimittaja A on vuonna 2016 vastuussa 32 prosentin laatuvirhemäärästä, kun taas seuraavana vuotena määrä on pudonnut seitsemään prosenttiin. Vastaavanlaisen huomion voi tehdä myös toimittaja G:n kohdalla. Virheetkään eivät pysyneet samana, vaan niidenkin välillä oli merkittävä määrä hajontaa.

Kuukausittaisia notifikaatiomääriä tarkasteltaessa voidaan huomata, että vuonna 2016 virhemäärien huippukuukaudet asettuivat kesätyökaudelle. Korkea määrät voidaan selittää kesätyöntekijöiden tekemillä virheillä. Vastaavanlaista ongelmaa ei kuitenkaan ole havaittavissa seuraavana vuotena, joten lienee turvallista todeta, että ongelman juurisyy on paikallistettu ja laitettu ongelmia korjaavat toimenpiteet käytäntöön. Mahdolliset ongelmat saattoivat johtua puutteellisesta perehdyttämisestä työhön. Seuraava notifikaatiohuippu on vuoden 2017 lokakuussa, tämä johtui toimittajilta tulleiden staattoreiden keskiarvoa suuremmasta notifikaatiomäärästä. Trendikäyrästä voidaan huomata positiivista kehitystä sen ollessa lievässä laskusuunnassa.

Toimihenkilön kanssa käydyn sähköpostinvaihdon perusteella voidaan todeta, että eniten laatuvirheellisiä staattoreita tulee työkustannuksiltaan edullisempien maiden toimittajilta. Tämä johtuu todennäköisesti paikan päällä vallitsevasta kiireestä sekä työntekijöiden ammattitaidottomuudesta, esimerkiksi käytettävien eristeiden

merkitystä ei välttämättä ymmärretä ja pahimmassa tapauksessa käytetään ”laitetaan vaan nyt jotain” -ajattelutapaa. Ongelmia on havaittu myös toimittajien tekemissä tarkastuksissa, pahimmassa tapauksessa ne on jätetty kokonaan tekemättä, vaikka väittävät muuta. ABB:n ohjeet on todettu hyväksi, mutta valitettavasti jotkut toimittajat eivät niitä lue, ymmärrä tai eivät niistä välitä.

Staattoreiden laatuvirheiden havainnointipaikat myötäilivät roottoreista tehtyä tilastoa; 71,1 prosenttia niistä kirjattiin KK-rakennuksessa.

12.2 Kehitysideat

Laatuvirheistä kirjatut notifikaatiot ja muut huomiot tulisi koota aina tietyn väliajoin esimiesten sekä laatuinsinöörien toimesta ja esittää työntekijöille lyhyen palaverin muodossa, ”säännöllisesti”. Näin huomataan työvaiheet, joissa laatuongelmia syntyy kulloinkin eniten ja voidaan yhdessä työntekijöiden kanssa miettiä ongelman aiheuttajaa sekä pohtia miten toimintaa tulisi kehittää paremman laadun saavuttamiseksi.

Samaista tapaa voidaan käyttää myös toimittajille annettavassa palautteessa; yhden reklamaation käsittely toimittajan työntekijän kanssa ei välttämättä johda minkäänlaiseen ajatustyöhön, vaan se saatetaan sivuuttaa pelkällä toteamuksella, että vastaanvanlaisia virheitä tullaan tulevaisuudessa välttämään. Sen sijaan alihankkijan työntekijän esimiehen näyttämä statistiikka, esimerkiksi kuukauden tai kahden ajalta saa todennäköisemmin niin esimiehen kuin työntekijänkin pohtimaan tarkemmin omaa tekemistään ja puutteellisen toiminnan aiheuttamia seurauksia. Notifikaatioita ja muuta laatutietoa voitaisiin koota toimittajakohtaisesti laatuinsinöörin toimesta ja lähettää data niille toimittajille, joilla on eniten laatuvirheitä kontollaan sekä pyytää heitä käymään tilastot läpi työntekijöidensä kanssa.

Edellä mainittuja menetelmiä voidaan käyttää niin staattoreiden kuin roottoreidenkin laadun kehittämiseen.

12.2.1 Roottorit

Roottoreiden suurimmat laatuongelmat olivat ruoste, vauriot ja erinäiset mittavirheet. Ruostevaurioiden välttämiseksi roottoreiden tai niissä käytettävien materiaalien pakkaustavat tulisi tarkastaa, jotta mahdollinen kosteus ei kuljetuksen aikana tai sen jälkeen pääse tekemään tuhojaan. Toimittajille tulisi myös selkeyttää, että tilatessa tuotteita Suomen ABB:lle, tulee pakkauksen olla nimenomaan Suomen ABB:n laatuvaatimusten mukainen, eikä muiden maiden ohjeistusta myötäilevä. Pakkauksen oikeaoppisuus voidaan todentaa alihankkijoilta pyydettäviltä valokuvilta ennen ja jälkeen pakkauksen. Mikäli pakkaus vahingoittuu kuljetuksen aikana, on alihankkijalta saaduista valokuvista helppo todentaa, että käsittelyvirhe on tapahtunut kuljetuksen aikana. Kaikkia toimittajilta tulevia roottoreita tai materiaaleja ei suinkaan ole tarpeellista kuvata, vaan kyseistä toimintatapaa voidaan rajata käytettäväksi esimerkiksi korkean hintaluokan tuotteissa tai komponenteissa, joita tarvitaan kiireellisesti.

Roottoreiden vauriot johtuvat suurimmaksi osaksi huolimattomasta käsittelystä, joten työntekijöitä tulisi kehoittaa komponenttien huolellisempaan käsittelyyn. Huomiota tulisi myös kiinnittää lavoihin, joissa roottoreita kuljetetaan, sillä muutamissa tapauksissa roottoreiden akseli on ylittänyt lavan reunan. Tämän seurauksena akseli on erityisen alttiina kolhiintumiselle. Sisäisen logistiikan työntekijät tulisi ohjeistaa tarkastamaan saapuneiden komponenttien kuljetusalustan oikea koko, sillä he ovat ensimmäisiä, jotka komponentteja käsittelevät. Väärällä lavalla olevista roottoreista tulee lähettää huomautus tavaran toimittajalle ja roottorit on viipymättä siirrettävä asianmukaiselle alustalle.

Mittahuoneella ei ole oikosulkurenkaiden valuvirheitä havaitsevaa laitetta, joten sellaisen hankkiminen parantaisi entisestään mittahuoneen toimintaa ja estäisi viallisten komponenttien etenemisen tuotantolinjoille asti.

12.2.2 Staattorit

Toimittajilta tuleville staattoreille ei tehdä säännöllisesti tarkastuksia, vaan niitä ohjataan tarkastukseen aina silloin tällöin. Hyvän laadun takaamiseksi näille tulisi perustaa oma tarkastussolunsa, jossa mittauksia tehdään säännöllisesti. Tällä hetkellä laatuvirheet todetaan suurimmaksi osaksi linjoilla, jolloin ne aiheuttavat runsaasti ylimääräistä vaivaa ja kuluttavat aikaa, joka voitaisiin käyttää toimivien komponenttien kanssa työskentelyyn. Uuden tarkastussolun avaaminen on perusteltua, sillä mittahuoneessa roottoreille tehtävien tarkastusten ansiosta on vähennetty merkittävästi viallisten komponenttien etenemistä linjoille asti. Tämän lisäksi tarvittavat mittalaitteet hartsaamattomille staattoreille ovat jo olemassa, joten kustannuksia aiheutuisi tiloihin tulevasta työpöydästä, tietokoneesta, tulostimesta ja staattoreiden nostolaitteesta sekä itse työtilan rakentamisesta.

Nykyinen tarkastuspaikka sahaussolussa ei ole millään lailla optimaalinen, sillä kyseinen tila on tarkoitettu muita toimintoja varten, eikä ylimääräistä tilaa juurikaan siellä ole päivittäisten tarkastusten suorittamiseksi. Tarkastuksia voidaan nopeuttaa päivittämällä niihin käytettävää mittavälineistöä, kuten uudemman mallisella toistoaaltokoestuslaitteella ja paremmilla hauenleuoilla, joilla yhdistetään mittalaitte staattorin vaiheisiin. ABB:n tulisi myös selvittää mittalaitteidensa kaikki käyttötarkoitukset. Nykyisin yhtä laitetta käytetään vain yhteen tarkoitukseen, vaikka ne olisivatkin ominaisuuksiltaan monikäyttöisempiä.

Analyysissä todettiin suurien laatuvirhemäärien keskittyvän erityisesti työkuksistaan edullisempien maiden toimittajilta tuleviin staattoreihin. Mailla ei välttämättä ole tarvittavaa tietotaitoa komponenttien valmistukseen tai niihin tulevien eristeiden tarkoituksesta. Analyysissä todettiin myös, ettei hyvistä ohjeista ole hyötyä, mikäli niihin ei perehdytä tai toimitaan ohjeistuksesta huolimatta oman pääm mukaan. Jotta eniten virheellisiä komponentteja lähehtävien toimittajien laatuvirheiden määrä saataisiin laskuun, tulisi ABB:n lähettää yhtiön edustaja perehdyttämään työntekijöitä eri työvaiheissa ja kertomaan esimerkiksi eristeen laadun tärkeydestä ja sen merkityksestä. Vastaavanlaista toimintaa on harjoitettu ennenkin esimerkiksi Puolassa, mutta ei paikoissa, joista eniten laatuvirheellisiä

yksilöitä tulee. Äärimmäisenä keinona ABB:n tulisi harkita myös toimittajien vaihtoa tietyissä tapauksissa, mikäli toivottavaa kehitystä ei tule tapahtumaan.

Vaikka tietyt toimittajat ovat hinnaltaan edullisia, huonosta laadusta syntyvien piilokustannusten takia kokonaiskustannukset nousevat muun muassa hukkaan heitetyn työajan ja myöhästymien seurauksena. Huonon laadun aiheuttamia kustannuksia tulisikin tutkia tarkemmin ja muodostaa kustannuslaskelmia kuinka paljon ongelmallisimmat toimittajat tulevat kokonaisuudessaan maksamaan, kun kaikki tekijät otetaan huomioon. Näitä kustannuslaskelmia voitaisiin verrata esimerkiksi keskivertotoimittajan kustannuksiin ja todeta onko todellisuudessa kannattavampaa tilata tuotteet hieman kalliimmalta, mutta laadukkaammalta toimijalta. Tämä tutkimus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi opinnäytetyönä.

13 POHDINTA

Tässä luvussa käydään läpi yleisiä huomioita opinnäytetyöstä, sen tekemisestä ja käsitellään tulosten virhemarginaalia.

Työn tavoitteena oli kartoittaa kehitysideoita ABB Oy:n aktiivikomponenttien laadun parantamiseksi. Työn tuloksena saatiin useita kehitysideoita miten ABB:n aktiivikomponenttien laatua voidaan kehittää ja pitää laatu halutulla tasolla. Analyysissä todettiin, että laatuvirheellisiä komponentteja oli eniten staattoreissa, erityisesti niissä jotka tulivat toimittajilta. Määrällisesti tarkasteltuna roottoreiden laatuongelmia oli huomattavasti vähemmän verrattuna staattoreihin.

Tavoitteissa onnistuttiin hyvin. Alun perin ajatuksena oli käsitellä vain vuoden 2017 laatunotifikaatioita, mutta päädyin ottamaan mukaan myös vuoden 2016 notifikaatiot, joka mahdollisti laadun kehityksen tarkastelun pidemmällä aikavälillä. Notifikaatioiden läpikäyminen oli hidasta, sillä niitä oli huomattava määrä ja jokainen kirjattu notifikaatio tuli tarkastaa luotettavan jaottelun saavuttamiseksi. Myös jaottelun tekeminen oli jokseenkin haastavaa, sillä usein tietyn ongelman olisi voinut sijoittaa useampaan sarakkeeseen. Esimerkiksi maasulku saattoi johtua käämipään alamittaisuudesta, eli se oltaisiin voitu sijoittaa erilaisten sulkuvikojen sijaan vaikka kääminnän virheisiin tai virheellisesti tehtyyn työsuoritukseen.

Statistiikan virhemarginaali pyrittiin luonnollisesti pitämään mahdollisimman alhaisena, mutta tästä huolimatta sitä saattaa kuitenkin esiintyä johtuen seuraavista seikoista:

- Näkemyserot notifikaatioiden jaottelussa, eri henkilöt saattaisivat jakaa virheet eri otsakkeiden alle.
- Yhdenmukaisen jaottelun saavuttamiseksi staattoreiden notifikaatiot olisi tullut käsitellä yhtenä kokonaisuutena, tässä opinnäytetyössä ne ladattiin SAPista vuosi kerrallaan ja myös käsiteltiin vuosittain.
- Inhimillisen virheen mahdollisuus on aina läsnä, kun dataa käsittelee ihminen.

- Notifikaatioita läpikäydessä muutama notifikaatio ei ollut latautunut Excel –listaan, puuttuvat yksilöt lisättiin kuitenkin manuaalisesti tarkastelun alaiseksi.

Koska opinnäytetyössä tarkasteltiin vain notifikaatioita, laatuvirheiden määrät eivät ole täysin verrattavissa nykyiseen tilanteeseen, sillä joitain komponentteja saatetaan romuttaa ilman notifikaation kirjausta. Huomioitava seikka on myös se, että kaikki toimittajat eivät ole kirjattuna notifikaatioihin.

Edellä mainituista seikoista huolimatta, laatuvirheiden määrät prosentteina antavat hyvän ja luotettavan kuvan nykyisestä tilanteesta. Vaikka kaikkien aktiivikomponenttitoimittajien tilastot eivät ole työssä esillä, ne ovat ABB:llä tiedossa ja kehitysideoissa mainittuja toimenpiteitä voidaan kohdistaa tarvittaessa myös niihin.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy 2017a. ABB-yhtymä. Verkkojulkaisu. Viitattu 14.12.2017.
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/yhtyma>
- /2/ ABB Oy 2017b. ABB Suomessa. Verkkojulkaisu. Viitattu 14.12.2017.
<http://www.new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /3/ Korpinen L. 2008. Sähkövoimatekniikkaopus. Verkkojulkaisu. Viitattu 14.12.2017. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahko-koneet_1osa.pdf
- /4/ ABB Oy 2014. Low voltage motors – Motor guide. Tuoteopas.
- /5/ Tukes 2015. ATEX opas. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.14.2017. https://tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/ATEX_opas.pdf
- /6/ ABB Oy 2017. Ex-moottorit. Verkkojulkaisu. Viitattu 18.12.2017.
<http://www.abb.com/product/seitp322/5e91df89f13ca0aec1256dd0003f143b.aspx>
- /7/ ABB:n sisäinen tietokanta. FIMOT-ohjeet
- /8/ ABB Oy 2016. Low voltage Motors for explosive atmospheres. Tuoteopas.
- /9/ Verkkonen V. 2014a. Sähkökoneet, epätahtikoneet. Esitelmä. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /10/ Verkkonen V. 2014 b Sähkökoneet, sähkökoneiden perusteita ja tasasähkökoneet. Esitelmä. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /11/ Lecklin O. 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. 5. painos. Hämeenlinna. Karisto Oy.
- /12/ Salminen P. 1990. Tuotteiden toiminnan ja laadun kehittäminen. Mänttä. Mäntän kirjapaino Oy.
- /13/ HIOKI. 2015. RM3548 Instruction Manual.
- /14/ Elecrom. 2014. iTIG II Model A Winding Analyzers Short Form User Guide.
- /15/ SIGMATEST®2.069. 2017. Operating Instructions. Verkkojulkaisu. Viitattu 29.01.2018. <http://www.mkckorea.com/catalog/foerster/sigmatest/Sigmatest%202.069%20Op%20Inst%20v3.12%20.pdf>

/16/ Alumeco. 2017. Asiantuntemus ja tekniikka, yleistä. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.01.2018 <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/yleistae/alumii-nin-korroosio>

/17/ Reijo Rautauoman säätiö. 2017. Kuljetusten ja jakelun logistiikkaa. Verkkojulkaisu. Viitattu 16.01.2018. <http://www.logistiikanmaailma.fi/aineistot/logistiikka-lukiolaisille/kuljetusten-ja-jakelun-logistiikkaa/>

LITE 1

[illegible]

Kuva 33. Mittauspöytäkirja hartsatuille staattoreille.

LIITE 2

[illegible]

Kuva 34. Mittauspöytäkirja hartsatuille kaksikierroskäämityille staattoreille.

LIITE 3

[illegible]

Kuva 35. Mittauspöytäkirja hartsaamattomille staattoreille.

LITE 4

[illegible]

Kuva 36. Mittauspöytäkirja hartsaamattomille kaksikierroskäämityille staattoreille.